

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA**  
**Y CARTOGRAFÍA**

**TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**



**CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO LIDAR UTILIZADO PARA LA**  
**MODELIZACIÓN 3D DE LAS FALLAS DE ALHAMA (MURCIA) Y**  
**CARBONERAS (ALMERÍA)**

**Madrid, Noviembre 2014**

***Alumnos:***

***Miguel Crespo Mozo***

***M<sup>a</sup> Isabel Manso Alconada***

***Tutores:***

***Andrés Díez Galilea***

***M<sup>a</sup> del Carmen Morillo Balsera***



## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1 OBJETIVOS GENERALES.....	6
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO.....	6
<b>2. TECNOLOGÍA LiDAR.....</b>	<b>8</b>
2.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN.....	8
2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	10
2.2.1 Definición de LiDAR.....	10
2.2.2 Devolución Láser.....	11
2.2.3 Atributos del punto LiDAR.....	11
2.3 COMPONENTES DEL SISTEMA LiDAR.....	13
2.3.1 Escáner Láser.....	14
2.3.2 Sistemas GPS e INS.....	14
2.3.3 Georreferenciación.....	15
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.....	17
3.1.1 Localización.....	19
3.1.2 Características del vuelo.....	20
3.1.3 Sensor utilizado (ALS60).....	22



<b>3.2 MEDIDAS ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1 Tendencia central.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.2 Dispersión.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.3 Forma.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.4 Posición.....</b>	<b>24</b>
 <b>3.3 CONTROL DE CALIDAD.....</b>	 <b>26</b>
<b>3.3.1 Control Interno Altimétrico.....</b>	<b>26</b>
3.3.1.1 Datos de partida.....	26
3.3.1.2 Procedimiento.....	27
3.3.1.2.1 Clasificación y eliminación de ruido.....	28
3.3.1.2.2 Obtención de Modelos Digitales (MDT/MDS).....	29
3.3.1.2.3 Comparativa de la nube de puntos LiDAR entre pasadas...	30
3.3.1.2.4 Obtención de errores y tintas hipsométricas.....	31
3.3.1.2.5 Estadísticos (Almería y Murcia).....	32
<b>3.3.2 Control Interno Planimétrico.....</b>	<b>47</b>
3.3.2.1 Datos de partida.....	47
3.3.2.2 Procedimiento.....	48
3.3.2.2.1 Digitalización.....	49
3.3.2.2.2 Obtención de pares de coordenadas.....	51
3.3.2.2.3 Diferencias gráficas.....	52
3.3.2.2.4 Transformación bidimensional.....	53
3.3.2.2.5 Transformación tridimensional.....	55
3.3.2.2.6 Estadísticos (Almería y Murcia).....	56



<b>3.3.3 Control Externo Altimétrico.....</b>	<b>77</b>
3.3.3.1 Datos LAS, GPS y MDT (PNOA).....	77
3.3.3.2 Procesamiento datos LAS.....	78
3.3.3.2.1 Clasificación y eliminación de ruido.....	79
3.3.3.2.2 Obtención de Modelos Digitales (MDT/MDS).....	80
3.3.3.3 LAS vs GPS.....	81
3.3.3.3.1 Comparativa de la nube de puntos LiDAR con datos GPS...	81
3.3.3.3.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.....	82
3.3.3.3.3 Estadísticos (Almería y Murcia).....	85
3.3.3.4 LAS vs MDT (PNOA).....	90
3.3.3.4.1 Comparativa de la nube de puntos LiDAR con PNOA.....	90
3.3.3.4.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.....	91
3.3.3.4.3 Estadísticos.....	92
3.3.3.5 GPS vs MDT (PNOA).....	93
3.3.3.5.1 Comparativa de los datos GPS con PNOA.....	93
3.3.3.5.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.....	94
3.3.3.5.3 Estadísticos.....	95
<b>3.3.4 Control Externo Planimétrico.....</b>	<b>96</b>
3.3.4.1 Datos LAS, GPS y Ortofoto.....	96
3.3.4.2 Procesamiento datos LAS y Ortofoto.....	97
3.3.4.2.1 Digitalización.....	99
3.3.4.2.2 Obtención de pares de coordenadas.....	101
3.3.4.3 LAS (ND) vs Ortofoto.....	102
3.3.4.3.1 Diferencias gráficas.....	102
3.3.4.3.2 Transformación bidimensional.....	103
3.3.4.3.3 Estadísticos (Almería y Murcia).....	105



3.3.4.4 LAS (ND) vs GPS.....	119
3.3.4.4.2 Transformación bidimensional.....	119
3.3.4.5 GPS vs Ortofoto.....	119
3.3.4.5.2 Transformación bidimensional.....	119
<b>4. PRESUPUESTOS.....</b>	<b>121</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>124</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>125</b>



## **1. INTRODUCCIÓN.**

Con la finalidad primera de terminar los estudios y obtener el título de Ingeniero Técnico en Topografía así como también de completar el conocimiento adquirido durante los años de docencia se ha llevado a cabo este proyecto de fin de carrera. Se pretende de esta forma cumplir una serie de objetivos generales y específicos.

### **1.1 OBJETIVOS GENERALES**

Como objetivos generales, así sea la temática del proyecto, tendremos:

- ❖ Llevar a cabo el proyecto utilizando los conocimientos proporcionados durante la fase de estudio.
- ❖ Tener conocimiento de las técnicas y herramientas disponibles para la realización del proyecto así como también su uso en cada una de las fases de este.
- ❖ Obtener un documento final adecuado para el entendimiento del proyecto ya sea por parte de alguien especializado o cualquier persona ajena al ámbito en el que se centra.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos pertenecientes al proyecto tendremos:

- ❖ Conocer de manera básica la historia del LiDAR y cómo se ha ido desarrollando.
- ❖ Comprender el funcionamiento del LiDAR para un posterior entendimiento de los resultados obtenidos a partir del Control de Calidad.
- ❖ Confeccionar un esquema para la metodología decidiendo el procedimiento a seguir.
- ❖ Una vez hallados los resultados comprobar que medidas estadísticas descriptivas son más óptimas a la hora de mostrar los resultados.

### **1.3 ALCANCE DEL PROYECTO.**

Al llevar a cabo este proyecto en el cual se ha realizado un Control de Calidad de una nube de puntos LiDAR como se especifica en el título del mismo se pretende alcanzar dos principales objetivos, uno inmediato y que obtenemos durante el procedimiento del proyecto y otro objetivo con vistas al futuro.

- ❖ El objetivo inmediato corresponde a la obtención de errores una vez realizado el Control de Calidad. Hallados los resultados se han llevado a cabo diferentes comparaciones y comprobaciones con el fin de detectar errores sistemáticos que se puedan subsanar en un futuro de manera inmediata.



- ❖ Como objetivo futuro y a consecuencia del anterior sería la automatización de todos los procedimientos realizados en este proyecto, es decir, la obtención de una aplicación informática la cual englobase todas las funciones que se han utilizado y que además pudiera eliminar posibles errores sistemáticos producidos por el LiDAR.



## **2. TECNOLOGÍA LiDAR.**

El LiDAR comenzó hace unos 50 años. Por aquel entonces se utilizaba principalmente como una herramienta para la investigación científica. El desarrollo del LiDAR fue lento al principio, obstaculizado sobre todo por la falta de soporte informático y otras tecnologías con las que asegurar los datos y manejarlos. En los últimos 15 años el progreso se aceleró drásticamente cuando se presentó al LiDAR como una tecnología viable y económica con la que hallar superficies de elevación y características sobre el terreno de manera más sencilla. Viendo el buen resultado obtenido por los primeros usuarios a la hora de generar modelos de elevación de alta precisión en grandes áreas el mercado de datos LiDAR creció de manera exponencial.

Los fabricantes con el tiempo han mejorado los sensores pasando de los de láser simple a los sofisticados sensores de múltiple retorno actuales. La rápida evolución y la capacidad de personalizar la recopilación de los datos LiDAR para aplicaciones específicas fueron las claves para la acogida rápida y generalizada de este sistema.

En los siguientes puntos pertenecientes a este capítulo se explicará con más detalle la evolución del LiDAR, en qué consiste y de qué sistemas está compuesto.

### **2.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN.**

La teledetección moderna basada en el láser se inició en la década de 1970 con la NASA trabajando con prototipos aéreos para un posible despliegue espacial. Estos prototipos se idearon para la medición de las propiedades de la atmósfera y el agua del océano, capas de hielo, copas de los árboles y no para la cartografía topográfica. Las investigaciones científicas de la Universidad de Stuttgart demostraron que el láser contaba con una alta precisión geométrica en la creación de perfiles, sin embargo, la falta en ese momento de sistemas GPS e IMU (mediados de 1980) obstaculizaron el desarrollo de estas técnicas.

La demanda de sistemas de georreferenciación directa (GPS/IMU) para el uso en fotogrametría aérea estimuló su rápido desarrollo. Las compañías que suministraban los equipos GPS para el levantamiento y la toma de datos en terreno desarrollaron nuevas soluciones para poder usar el GPS en cinemático en el aire. Se configuró la constelación de satélites GPS de manera que pudiera dar cobertura a grandes extensiones de terreno. A mediados de 1990 los fabricantes de láser escáner sacaron al mercado sensores LiDAR capaces de registrar de 2000 a 25000 pulsos por segundo destinados a clientes que tuvieran la intención de utilizarlos exclusivamente con fines topográficos. Aunque obsoletos desde el punto de vista actual, estos sistemas generaban una gran nube de puntos impensable para la topografía y la fotogrametría clásica lo que supuso que a finales de la década de 1990 creciera la creencia en su uso, no solo por la capacidad de trazado del terreno muy similar a la realidad sino también por la obtención de elementos superficiales como edificios, árboles, carreteras, etc...

La fotogrametría era la encargada generalmente de producir los archivos de datos de alta resolución del terreno y los elementos superficiales cuando los archivos de datos LiDAR fueron





presentados. También había productos de baja resolución obtenidos a partir de radar o cámaras espaciales. Se analizaron entonces las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos existentes frente al LiDAR.

En el caso de la fotogrametría la desventaja era que se trata de una tecnología inferencial, es decir, lo que se quiere cartografiar debe ser previamente visto. Por otro lado el radar, aunque posee una capacidad única de atravesar las nubes y es una herramienta muy eficaz a la hora de obtener grandes superficies, consta de un instrumental caro y requiere de una habilidad especial para el procesamiento e interpretación de datos. Además presenta ciertas limitaciones a la hora de medir elevaciones del terreno debajo de la cobertura forestal, así como también en terrenos muy inclinados y áreas urbanas densas. En cuanto al sensor LiDAR, la zona de recubrimiento es muy similar a la de las cámaras aéreas tradicionales por lo que los métodos para la planificación de un vuelo fotogramétrico podrían aplicarse directamente al del vuelo LiDAR. Es capaz de “ver” entre los árboles en zonas de vegetación, cosa que en fotogrametría es difícil de interpretar. Desde el punto de vista del resultado final, el producto obtenido por el LiDAR a partir de una densa nube de puntos es muy similar al obtenido mediante métodos fotogramétricos.

En conclusión, el LiDAR fue presentado como una herramienta rápida, precisa y directa con la que generar datos tridimensionales, suponiendo una solución para el desarrollo cartográfico muy atractiva.

La demanda del conjunto de datos LiDAR se aceleró rápidamente, sin embargo, a principios del año 2000, los software como CAD o SIG no estaban preparados para procesar de manera eficiente un volumen de datos tan grande. Por esta razón ese año quedó marcado por las rápidas mejoras en los sistemas de procesamiento de datos y la arquitectura de las TI necesarios para manejar los terabytes de datos producidos por lo último en escáneres. Este periodo quedó caracterizado por:

- ❖ Escáneres capaces de registrar más de 50000 pulsos por segundo.
- ❖ Sistemas GPS e Inerciales fiables para la georreferenciación precisa.
- ❖ Obtención del nivel de intensidad de los puntos LiDAR que puede dar lugar a la generación de imágenes raster.
- ❖ Mejora de los software del procesamiento de datos como SIG y CAD.
- ❖ Desarrollo de software específico para el procesamiento de datos LiDAR brutos.
- ❖ En general, incremento de las infraestructuras TI incluyendo procesadores más rápidos y soluciones de almacenamiento.

A medida que la demanda de datos LiDAR creció, también lo hizo la necesidad de unas directrices, unas especificaciones técnicas y estándares de precisión. Entidades del gobierno de los



Estados Unidos desarrollaron unas normas para garantizar la calidad y la exactitud de la información. Asociaciones profesionales proporcionaron espacios para el intercambio rápido de ideas obtenidas a partir de investigaciones sobre los diferentes dominios del uso del LiDAR. Aunque en la actualidad no existen normas públicas disponibles para datos LiDAR o productos derivados, la ASPRS (Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección) ha desarrollado el “Archivo estándar LiDAR” para el intercambio de datos binarios de los datos LiDAR el cual ha sido aceptado por fabricantes de sensores, desarrolladores de software y los usuarios en general.

En la actualidad hay más de 200 sistemas de LiDAR que operan en el mundo. Los últimos sistemas son capaces de registrar 250000 pulsos por segundo, gestionar múltiples pulsos en el aire en un momento dado, capturar múltiples retornos de pulsos individuales, etc... La recolección de datos puede ser personalizada según el interés del usuario, sabiendo que estos datos robustos poseen una gran calidad y que existe la posibilidad de almacenarlos.

Aunque los sistemas LiDAR se llevan utilizando 10 años, se sigue trabajando para aumentar su potencial. Fabricantes de estos sistemas están desarrollando sensores multi-láser con múltiples polarizaciones, por ejemplo, una combinación de láser rojo, verde y azul para simular el RGB de la luz visible.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

### **2.2.1 Definición de LiDAR.**

El LiDAR (light detection and ranging) es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas en X, Y y Z. Produce datasets de nube de puntos masivos que se pueden administrar, visualizar, analizar y compartir usando software específicos.

Los componentes de hardware principales de un sistema LiDAR, de los que se hablará con más detalle un poco más adelante, incluyen un vehículo de recolección (avión, helicóptero, vehículo y trípode), sistema de escáner láser, GPS (sistema de posicionamiento global) e INS (sistema de navegación inercial).

LiDAR es un sensor óptico activo que transmite rayos láser hacia un objetivo mientras que se mueve a través de rutas topográficas específicas. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor LiDAR. Estos receptores registran el tiempo preciso desde que el pulso láser dejó el sistema hasta cuando regresó para calcular la distancia límite entre el sensor y el objetivo. Combinado con la información posicional (GPS e INS), estas medidas de distancia se transforman en medidas de puntos tridimensionales reales del objetivo refleto en el espacio del objeto.

Los datos de punto se procesan posteriormente después de que la recopilación de datos LiDAR se reconocen dentro de las coordenadas X, Y y Z georeferenciadas con alta precisión al analizar el rango de tiempo láser, ángulo de escaneo láser, posición del GPS e información del INS.

### 2.2.2 Devolución Láser.

Los pulsos láser emitidos desde un sistema LiDAR se reflejan desde objetos sobre y por encima de la superficie del suelo: vegetación, edificios, puentes y así sucesivamente. Un pulso láser emitido puede regresar al sensor LiDAR como uno o muchas devoluciones. Cualquier pulso láser emitido que encuentre varias superficies de reflejo a medida que viaja hacia el suelo se divide en tantas devoluciones como superficies reflectoras existentes.

El primer pulso láser devuelto es el más importante y se asociará con la entidad más grande en el panorama como una copa de árbol o la parte superior de un edificio. La primera devolución también puede representar el suelo, en cuyo caso el sistema LiDAR solo detectará un regreso.

Varias devoluciones pueden detectar las elevaciones de varios objetos dentro de la huella láser de un pulso láser saliente. Las devoluciones intermedias, en general, se utilizan para la estructura de la vegetación, y la última devolución para los modelos de terreno de suelo desnudo.

La última devolución no siempre será una devolución del suelo. Por ejemplo, consideramos un caso en donde un pulso golpee una rama gruesa en su camino hacia el suelo y el pulso no llegue en realidad al suelo. En este caso la última devolución no es desde el suelo pero sino desde la rama que reflejó el pulso láser completo.

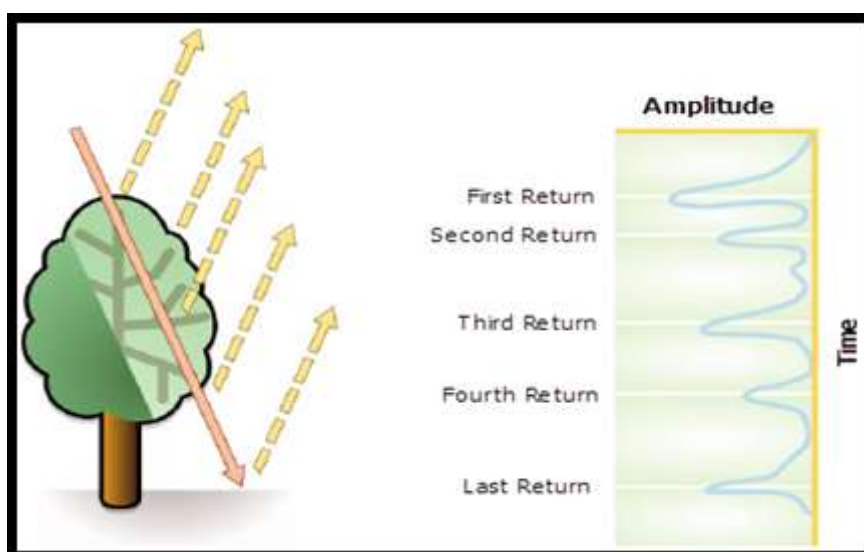


Figura 1. Múltiples devoluciones del láser

<http://resources.arcgis.com/>

### 2.2.3 Atributos del Punto LiDAR.

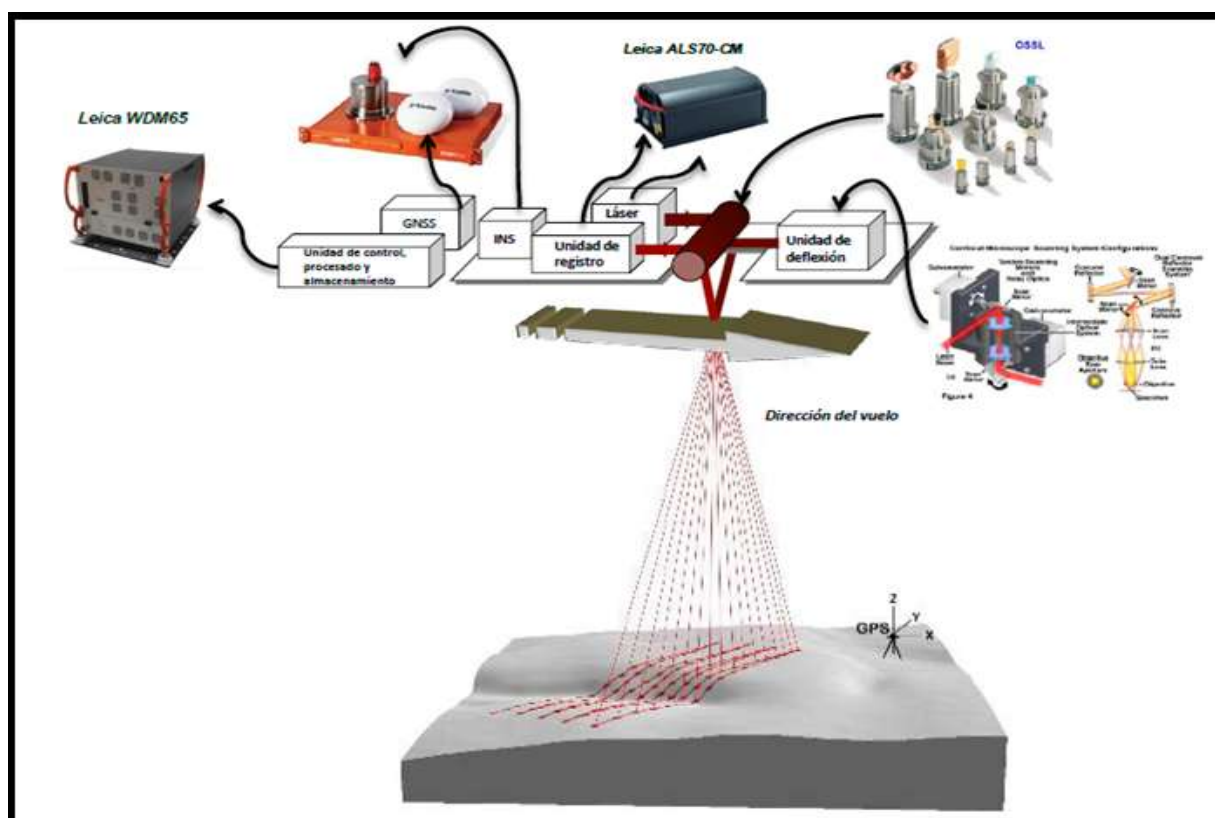
La información adicional se almacena junto con cada valor posicional X, Y y Z. Los siguientes atributos del punto LiDAR se mantienen para cada pulso láser registrado: intensidad, número de devolución, cantidad de devoluciones. Valores de clasificación de punto, puntos que están en el borde de la línea de vuelo, valores RGB (rojo, verde y azul), tiempo GPS, ángulo de escaneo y



dirección de escaneo. La siguiente tabla describe los atributos que se pueden proporcionar con cada punto LiDAR.

Atributo	Descripción
<b>Intensidad</b>	La fortaleza de la devolución del pulso láser que genere el punto LiDAR.
<b>Número de devolución</b>	Un pulso láser emitido puede tener hasta cinco devoluciones dependiendo de las entidades en las que se refleja y las capacidades del escáner láser que se utiliza para recopilar los datos. La primera devolución se etiquetará como devolución número uno, la segunda como devolución número dos, etc.
<b>Número de devoluciones</b>	El número de devoluciones es el número total de devoluciones para un pulso dado. Por ejemplo, un punto de datos láser puede ser la devolución dos (número de devolución) dentro de un número total de cinco devoluciones.
<b>Clasificación de puntos</b>	Cada punto LiDAR que es postprocesado puede tener una clasificación que define el tipo de objeto que reflejó el pulso láser. Los puntos LiDAR se pueden clasificar en varias categorías que incluyen suelo o terreno desnudo, parte superior de cubierta forestal y agua. Las diversas clases se definen mediante códigos numéricos de enteros en el archivo LAS.
<b>Borde de la línea de vuelo</b>	Los puntos se simbolizarán en base a un valor de 0 o 1. A los puntos etiquetados en el borde de la línea de vuelo se les proporcionará un valor de 1 y a todos los otros puntos se les proporcionará un valor de 0.
<b>RGB</b>	Los datos LiDAR se pueden atribuir con bandas RGB (rojas, verdes y azules). Esta atribución con frecuencia viene de las imágenes recopiladas al mismo tiempo que la topografía LiDAR.
<b>Tiempo del GPS</b>	La fecha de registro del GPS en la que se emitió el punto láser desde el avión. El tiempo está en segundos del GPS de la semana.
<b>Ángulo de escaneo</b>	El ángulo de escaneo es un valor en grados entre -90 y +90. A 0 grados, el pulso láser está directamente debajo del avión en nadir. A -90 grados, el pulso láser está en el lado izquierdo del avión, mientras que a +90, el pulso láser está a la derecha del avión en la dirección de la luz. La mayoría de sistemas LiDAR actualmente tienen menos de $\pm 30$ grados.
<b>Dirección de escaneo</b>	La dirección de escaneo es la dirección en la que estaba viajando el espejo de escaneo en el momento del pulso láser de salida. Un valor de 1 es una dirección de escaneo positiva, y un valor de 0 es una dirección de escaneo negativa.

Como ya se explicará en el capítulo 3, este proyecto se ha realizado desde el punto de vista de los efectos producidos por la nube de puntos en el terreno, es decir, la calibración y estado de los componentes no ha sido tratada. Por esta razón a continuación se explicará simplemente cada uno de los componentes y sus características.



Andrés Díez Galilea (2014)



### **2.3.1 Escáner Láser.**

El escáner láser transmite pulso de luz hacia un objeto o blanco interactuando con dicho objeto de manera que cambia sus características, estos cambios producen una nueva luz reflejada o dispersada con dirección de vuelta al sensor donde es registrada por un telescopio que la dirige a un detector para posterior análisis. Los cambios en las propiedades de la luz, como su intensidad o color, permiten determinar algunas de las propiedades de los objetos o propiedades del medio atravesado. Por último, la medida del tiempo que tarda la luz en el camino de ida y vuelta se usa para determinar la distancia entre el sensor y el objeto iluminado.

Los componentes hardware básicos de un sistema LiDAR son: transmisor, receptor, detector y la unidad de medida de tiempo. El transmisor se encarga de generar los pulsos de luz y dirigirlos al objeto. El receptor recoge y procesa la señal de luz devuelta obtenida por dispersión, reflexión y colimación, y la dirige al fotodetector, donde un dispositivo convierte la señal luminosa en una señal eléctrica. Un elemento óptico recoge la luz y la focaliza a una zona de registro pequeña. El tamaño de esta componente óptica es muy importante en la determinación de la efectividad del sistema LiDAR. Una vez capturado el rayo, la luz es procesada de diferentes formas y enviada al sistema detector. El procesamiento está basado en la longitud de onda, la polarización y/o distancia.

A continuación se procede a la detección y registro electrónico de la señal en forma de intensidad como función de la altitud o distancia recorrida. EL detector convierte la luz en una señal eléctrica siendo el registrador el dispositivo electrónico que procesa y graba esta señal eléctrica. La tarea del receptor acompañado del amplificador es detectar el eco o ecos producidos, y sobre todo el extremo inicial y final del pulso. La prestaciones del detector definen el rango del sistema mientras que las prestaciones de los valores umbrales o límites del detector y del contador de tiempo definen la resolución y exactitud de la distancia medida.

### **2.3.2. Sistemas GPS e INS.**

Como ya se dijo anteriormente, los sistemas LiDAR al final nos proporcionan coordenadas tridimensionales (x,y,z) mediante un barrido láser de una serie de puntos del terrenos distribuidos perpendicularmente a la línea de vuelo. Los puntos de un perfil del terreno se obtienen a partir de distancias según una dirección vertical óptica, por pulsos láser desde una plataforma aérea. Por tanto, la posición (x,y,z) desde la que se miden las distancias al terreno debe ser conocida tan bien como la dirección del vector distancia. En otras palabras, la orientación del sensor depende de la precisión del levantamiento aéreo y debe obtenerse con gran exactitud.

La exactitud geométrica de estos sensores está íntimamente relacionada con la calidad de su Orientación Externa la cual es esencial. Esta orientación externa es la que obtendremos de los sistemas de navegación integrados (GPS e INS). El escáner láser mide solamente el vector orientado desde la abertura del sistema láser a un punto objeto normalmente en el terreno. Los puntos tridimensionales solo se pueden calcular si en cualquier instante se conoce la posición y orientación del sensor LiDAR con respecto a un sistema de coordenadas.



Para conocer dicha posición se emplean un Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) que consiste en un receptor GPS situado en el avión y una o más estaciones sobre el terreno.

En el caso de la orientación se usan los Sistemas de Navegación Inercial (INS). La navegación inercial se basa en conocer la posición inicial del objeto, velocidad y orientación a través de la medida de los giros en el espacio y las aceleraciones. Un INS consta de una Unidad de Medida Inercial (IMU) que está formada a su vez de giróscopos, que se usan para determinar los parámetros de rotación de la orientación externa, y los acelerómetros, que proporcionan la aceleración, velocidad y posición del sensor.

Habría que tener en cuenta que antes de utilizar todos los datos obtenidos por estos sistemas se deberá realizar una calibración de los mismos que nos asegure la calidad de los datos mencionados.

### **2.3.3 Georreferenciación.**

A partir del vuelo LiDAR con el sistema integrado de sensores se obtiene dos conjuntos de datos: los datos del sistema DGPS/IMU y las distancia láser con los ángulos de barrido o escaneado instantáneo.

Una vez calibrados los componentes se procede al cálculo de la nube de puntos láser distribuidos aleatoriamente en elevación y posición. La distribución de los puntos depende del patrón de escaneado del sistema escáner láser.

La ecuación geométrica general de la georreferenciación directa, necesaria en la determinación de puntos tridimensionales, válida para cualquier sensor se obtendrá a partir de una serie de aplicaciones matemáticas entre los cuatro sistemas de coordenadas necesarios:

- ❖ Sistema geocéntrico de coordenadas, con origen en el centro de masas de la Tierra y elipsoide WGS84 (SG)
- ❖ Sistema de coordenadas local (SL). Se utiliza como referencia para la medida de la actitud de la plataforma.
- ❖ Sistema de coordenadas de la plataforma del avión (SB).
- ❖ Sistema de coordenadas del sensor (SS).



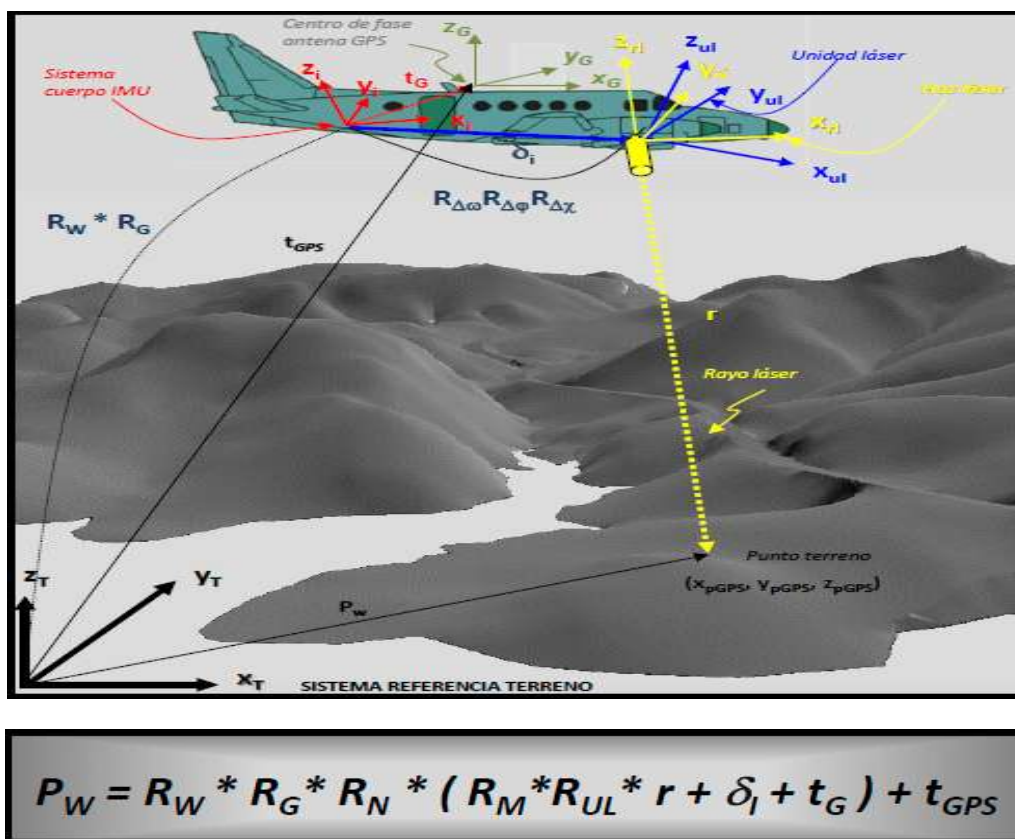


Figura 3. Ecuación de georreferenciación y Sistemas de coordenadas Andrés Díez Galilea (2014)

Donde:

$P_W$  vector posición punto terreno en el sistema WGS84.

$R_W$  matriz de rotación que transforma al sistema WGS84 (geocéntrico terrestre).

$R_G$  matriz de rotación que transforma al sistema WGS84 (centro de fase de la antena GPS).

$R_N$  matriz de rotación entre el SR terreno y el SR lidar determinada por el INS/GNSS

$R_M$  matriz de rotación entre el SR del Lidar y el SR de la IMU. Matriz de desalineamiento.

$R_{UL}$  matriz que gira el sistema de barrido dentro del sistema local del Lidar.

$\rho$  rango de distancia

$r$  vector posición punto terreno a partir del haz láser.

$\delta_i$  vector traslación entre la Unidad Láser y la IMU.

$t_G$  vector traslación entre la IMU y el centro antena GNSS

$t_{GPS}$  vector posición antena GNSS respecto sistema geocéntrico terrestre.





### **3. METODOLOGÍA.**

#### **3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.**

La nube de puntos LiDAR del vuelo, obtiene sus coordenadas a partir de una orientación directa del sensor calculada mediante los sistemas GPS-IMU acoplados en el avión. Esta circunstancia conlleva a que esta nube de puntos no puede utilizarse directamente para la generación de modelos digitales de elevación si antes no se realiza un proceso de ajuste tanto planimétrico como altimétrico de las distintas pasadas. A pesar de los distintos ajustes que se realizan es necesario, a posteriori, proceder a un control de calidad antes de la utilización de dichos datos, ya que se pueden producir errores.

Obtenida la nube de puntos para mejorarlo será preciso en primer lugar identificar las fuentes de error y seguidamente eliminar esos errores o al menos atenuarlos por medio del correspondiente ajuste.

El Control de Calidad supone un procedimiento a posteriori de acuerdo con los datos LiDAR, es decir, a partir de los efectos, para asegurar y verificar la calidad de los datos registrados.

En este proyecto se ha llevado a cabo el control de calidad desde el punto de vista de crear una metodología que permita evaluar la información registrada por los sensores LiDAR. El procedimiento se ha dividido en dos categorías que su vez se han dividido en otras como viene indicado en los esquemas que a continuación se han adjuntado:

- ❖ Control de Calidad Interno.
- ❖ Control de Calidad Externo.

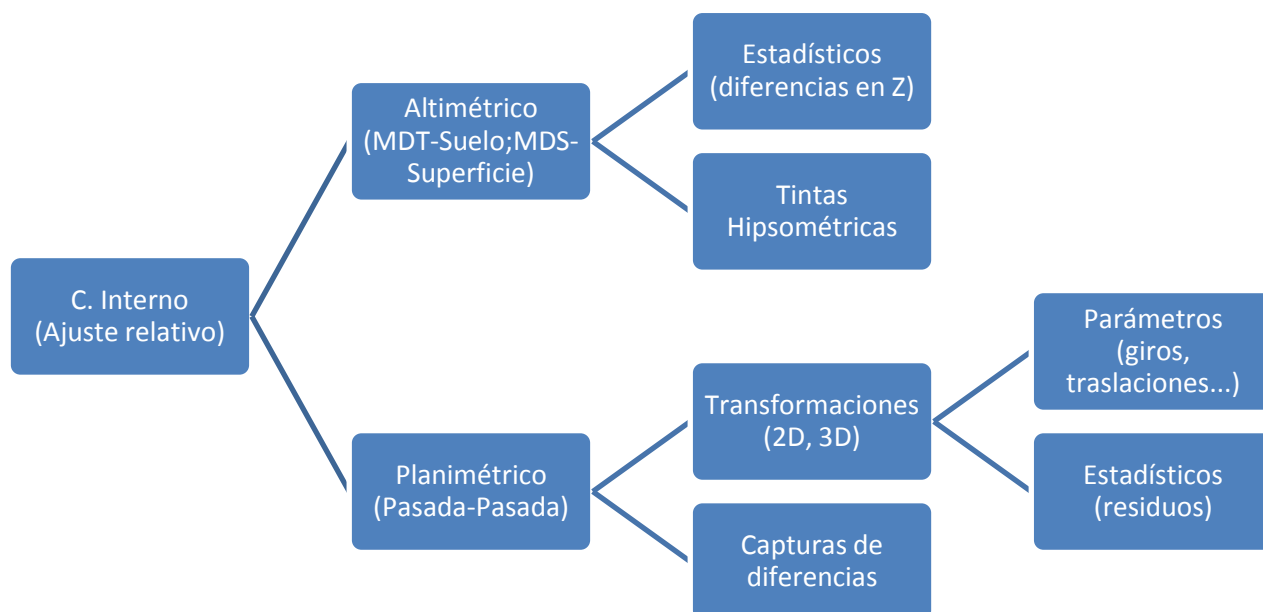


Figura 4. Esquema proceso Control de Calidad Interno

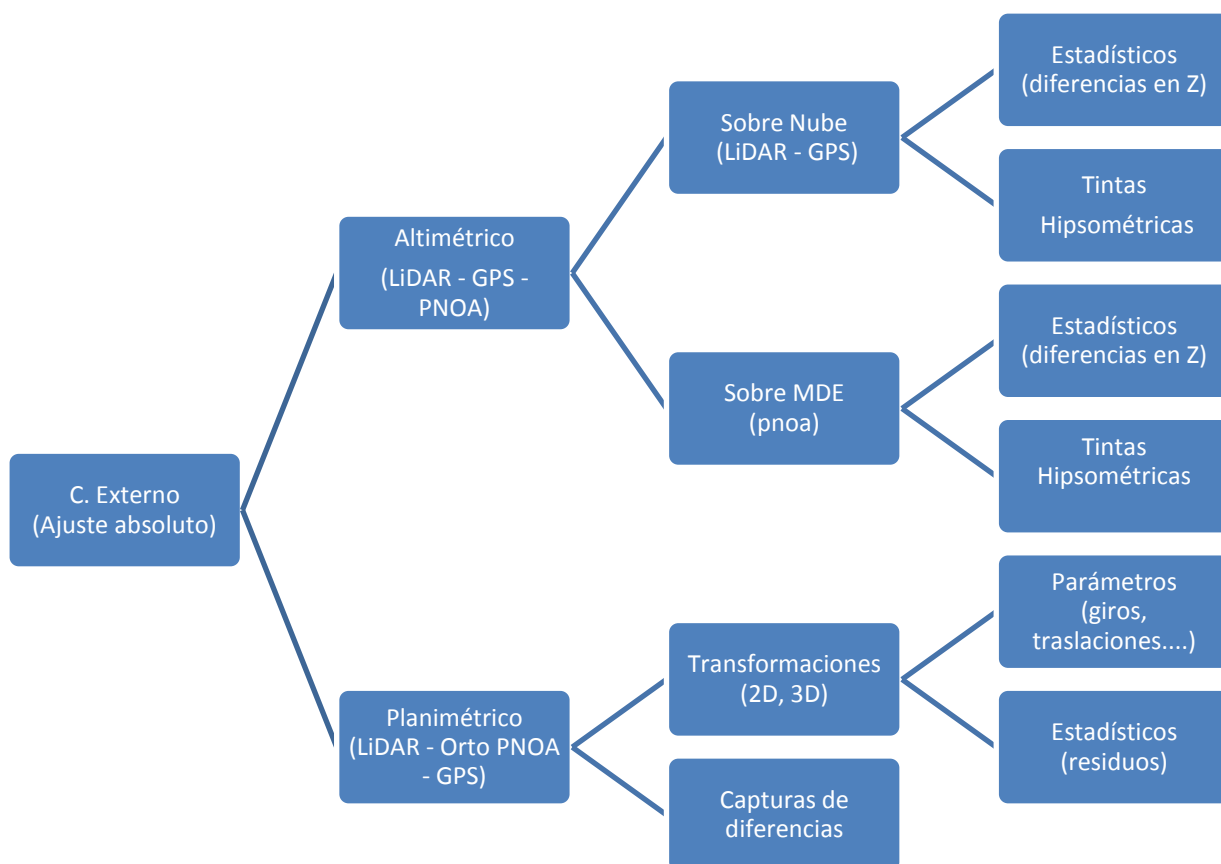


Figura 5. Esquema proceso Control de Calidad Externo



Los dos esquemas anteriores conforman la estructura de trabajo que se ha seguido a la hora de realizar el control de calidad, sin embargo, antes de comenzar a explicar este procedimiento, se va a presentar la zona en la que se realizó el vuelo con el que se ha trabajado así como algunas de las características del avión y sensor utilizado.

### 3.1.1 Localización.

El vuelo se divide en dos zonas perfectamente diferenciadas: la primera en la provincia de Murcia (Falla de Alhama) y la segunda en la provincia de Almería (Falla de Carboneras). La sub-área de vuelo correspondiente a Murcia ocupa una extensión aproximada de 282 km<sup>2</sup> y un perímetro de vuelo de 139 kilómetros y la sub-área de vuelo correspondiente a Almería ocupa una extensión aproximada de 271 km<sup>2</sup> y un perímetro de vuelo de 120 kilómetros.

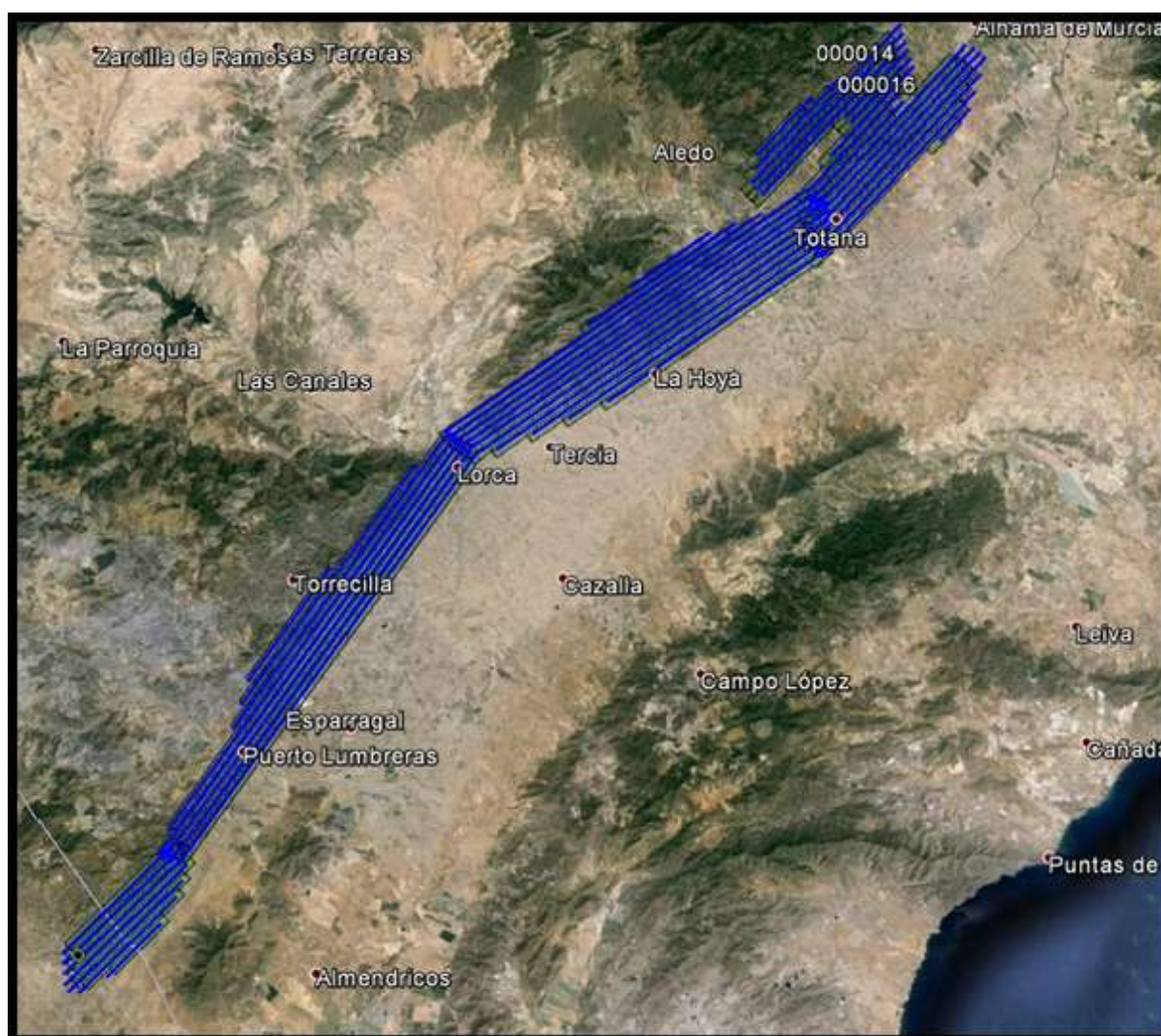


Figura 6. Esquema de vuelo sobre la falla de Alhama (Murcia)





Figura 7. Esquema de vuelo sobre la falla de Carboneras (Almería)

### 3.1.2 Características del vuelo.

Para obtener una cobertura LiDAR lo más densa posible se configuraron las siguientes características. En cuanto a puntos por metro cuadrado, el vuelo se realizó a una altura de 1500 metros sobre el terreno, de este modo se obtuvo una densidad media de 4 puntos por metro cuadrado con una separación media entre puntos de 0.5 metros. Podemos deducir pues que en las zonas con doble solape la densidad media que se ha obtenido es de 8 puntos por metro cuadrado con separación media de 0.25 metros.

Además de los datos ya descritos a continuación se adjunta una tabla con las demás características del vuelo LiDAR.



Description Sensor ID	Computed SN73m	Target	Unit
<b>Terrain and Aircraft</b>			
Reference Height	0		m
Flying Height AGL	1500	1500	m
Altitude AMSL	1500 / 4921		m/ft
Recommended Ground Speed (GS)	150	150	kts
<b>Scanner</b>			
Field of View (FOV)	18.0	18.0	degrees
Maximum Scan Rate	67.4		Hz
Scan Rate Setting used (SR)	67.4		Hz
<b>Laser</b>			
Maximum Laser Pulse Rate	150000		Hz
Laser Pulse Rate used	150000		Hz
Multi Pulse in Air Mode	Enabled	Enabled	
Gain Up	15		
Gain Down	4		
Range Intensity mode	5		
Nominal Maximum Slant Range	1544.01		m
Minimum Range Gate	1191.31		m
Maximum Range Gate	1568.41		m
Range Gate size	377.11		m
Range margin above hills	308.69		m
Range margin below valleys	49.10		m
Recommended Laser Current	60		%
<b>Coverage</b>			
Full Swath Width	475.15		m
Coverage Rate (No line optimization)	101.28		km <sup>2</sup> /h
Recommended Line Spacing (No DTM)	364.60		m
Minimum Sidelap (No DTM, lower)	23.27		%
Minimum Sidelap (upper)	23.27		%
<b>Point Spacing and Density</b>			
Maximum Point Spacing Across Track	0.68		m
Maximum Point Spacing Along Track	1.15		m
Across Track/Along Track Ratio	0.59	1.00	
Average Point Density	4.1	1.0	pts / m <sup>2</sup>
Average Point Spacing	0.49		m
Nadir Point Density	2.6		pts / m <sup>2</sup>
<b>Reflectivity and SNR</b>			
Illuminated Footprint Diameter	0.34		m, 1/e <sup>2</sup>
Terrain Reflectivity	0.10		
Estimated SNR for diffuse targets	21.16 - 20.84		
Line/Rail Cross Section	10.00		mm
Line/Rail Reflectivity	0.30		
Best Case Wire SNR	2.76 - 0.00		
Average SNR	21.00	21.00	
<b>Accuracy</b>			
Estimated Across Track Accuracy	0.12		m
Estimated Along Track Accuracy	0.11		m
Estimated Height Accuracy	0.07		m
<b>Eye safety</b>			
Eye Safety Shutoff Distance (Binoculars)	966		m
Eye Safety Shutoff Distance (naked eye)	150		m

Figura 8. Tabla completa con las características del vuelo

### 3.1.3 Sensor utilizado (ALS60).

Sensor de la casa Leica, es un sistema compacto basado en láser diseñado para la adquisición de datos topográficos y de intensidad de la señal de retorno a partir de una variedad de plataformas aerotransportadas. Los datos se calculan utilizando el alcance y mediciones de la intensidad de la señal de retorno registrada en vuelo, junto con datos de posición y actitud derivados de GNSS en el aire y subsistemas inerciales. El ALS60 se encuentra en la categoría de instrumentos aéreos conocido como LiDAR (Light Detection and Ranging).



Figura 9. Leica Geosystems (ALS60 Airborne)

El ALS60 es un sistema de cartografía LiDAR aerotransportado. Se complementa con una estación de medición de calidad de doble frecuencia GNSS base y el equipo de post-procesamiento (un PC gama alta). El sistema ALS60 incluye todo el software de post-procesamiento necesario para proporcionar latitud/ longitud/ altura/ intensidad de salida, y este software está diseñado para procesar la salida para una amplia variedad de series ALS4, ALS60, ALS60 con configuraciones Mapper Corredor ALS.

Mediante la medición de la posición y la actitud de la aeronave, la distancia al suelo y ángulo de barrido (con respecto a la base del cuerpo del escáner), se puede determinar la posición del punto para cada pulso láser que incide en el terreno.



### 3.2 MEDIDAS ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS.

Es importante previo a entrar en materia conocer algunos conceptos sobre estadística. En este punto se explican varias medidas estadísticas descriptivas a tener en cuenta y de las cuales nos vamos a valer en el control de calidad para interpretar los resultados obtenidos en el proceso y analizar así la posibilidad de incluirlas en una futura aplicación.

La estadística descriptiva realiza el estudio sobre la población completa, observando una característica de la misma y calculando unos parámetros que den información global de toda la población. Este estudio puede clasificarse según las medidas sean de tendencia central, dispersión, forma o posición.

#### 3.2.1 Tendencia central.

Al describir grupos de observaciones, con frecuencia es conveniente resumir la información con un solo número. Este número suele situarse hacia el centro de la distribución de datos y se denomina medida o parámetro de tendencia central o de centralización. Hay tres tipos de parámetros con estas características:

- ❖ Media aritmética: La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

- ❖ Mediana: Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.
- ❖ Moda: Es el valor con una mayor frecuencia en una distribución de datos.

#### 3.2.2 Dispersión.

Las medidas de dispersión, también llamadas medidas de variabilidad, muestran la variabilidad de una distribución, indicando por medio de un número, si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la media. Cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Así se sabe si todos los casos son parecidos o varían mucho entre ellos.

- ❖ Rango: Es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en un grupo de números aleatorios.
- ❖ Varianza: Es una medida estadística que mide la dispersión de los valores respecto a un valor central (media), es decir, es el cuadrado de las desviaciones.





$$S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

- ❖ Desviación típica: Se halla como la raíz cuadrada positiva de la varianza. La desviación típica informa sobre la dispersión de los datos respecto al valor de la media; cuanto mayor sea su valor, más dispersos estarán los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

- ❖ Coeficiente de variación: Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica, aunque a diferencia de esta, el coeficiente de variación es variable ante cambios de origen.

$$C_V = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

### 3.2.3 Forma.

Las medidas de forma caracterizan la forma de la gráfica de una distribución de datos estadísticos. La mayoría de estos parámetros tiene un valor que suele compararse con la campana de Gauss, esto es, la gráfica de la distribución normal.

- ❖ Asimetría: Las medidas de asimetría son indicadores que permiten establecer el *grado de simetría* que presenta una distribución de probabilidad de una variable\_aleatoria sin tener que hacer su representación gráfica. Si este coeficiente es mayor que 0, la distribución tiene asimetría positiva, si es menor que cero, la asimetría es negativa.
- ❖ Curtosis: El Coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución.

### 3.2.4 Posición.

Cuando se hace referencia únicamente a la posición que ocupan los parámetros dentro de la distribución, independientemente de que ésta esté más o menos centrada, se habla de estas medidas como medidas de posición.





- ❖ Percentiles: Los percentiles son los 99 valores que dividen la serie de datos en 100 partes iguales. Los percentiles dan los valores correspondientes al 1%, al 2%... y al 99% de los datos.  $P_{50}$  coincide con la mediana.
- ❖ Deciles: Los deciles son los nueve valores que dividen la serie de datos en diez partes iguales. Los deciles dan los valores correspondientes al 10%, al 20%... y al 90% de los datos.  $D_5$  coincide con la mediana.
- ❖ Cuartiles: Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales.  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  determinan los valores correspondientes al 25%, al 50% y al 75% de los datos.  $Q_2$  coincide con la mediana.



### 3.3 CONTROL DE CALIDAD.

#### 3.3.1 Control Interno Altimétrico.

Mediante esta fase se pretende validar la consistencia y precisión requerida en la información LiDAR de forma interna, es decir, la calidad del ajuste entre las distintas pasadas que conforman el vuelo. Consistirá en evaluar dos nubes de puntos LiDAR registradas por diferentes líneas de vuelo sobre una misma zona. Con ello se comprueba la coherencia, integridad y corrección de las mismas.

##### 3.3.1.1 Datos de partida.

Para llevar a cabo este control se analiza gráficamente la posición de las pasadas. La finalidad de este análisis sería la búsqueda de zonas óptimas donde realizar dicho control, siendo estas preferentemente aquellas que muestran accidentes del terreno, como por ejemplo colinas, ya que los errores en altimetría se acentúan en este tipo de superficies.

Hecho el análisis se han seleccionado 30 zonas (15 pertenecientes a Murcia y 15 pertenecientes a Almería) a lo largo del vuelo. Durante esta selección se han tenido en cuenta posibles solapes paralelos y transversales entre más de dos pasadas de manera que se pueda realizar un estudio más exhaustivo de la coherencia interna del vuelo.

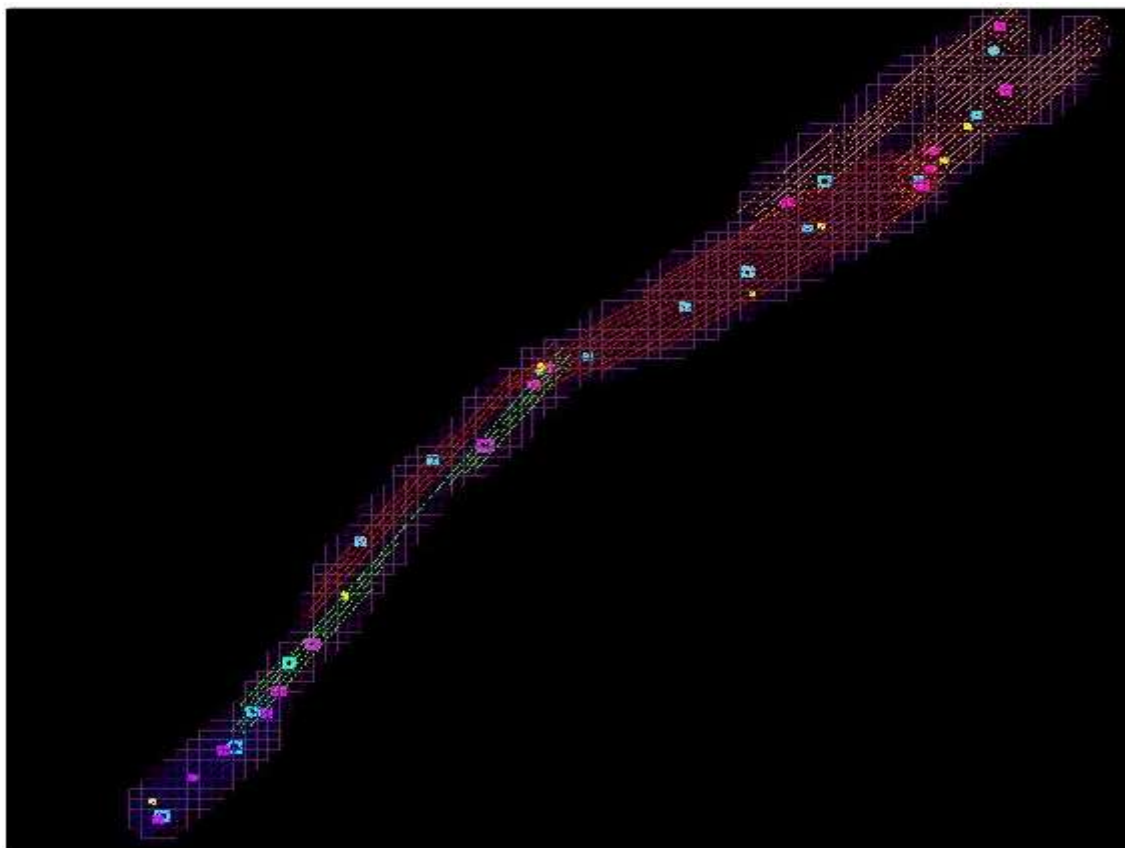


Figura 10. Disposición de las zonas de Control Interno Altimétrico en Murcia (recuadros azules)

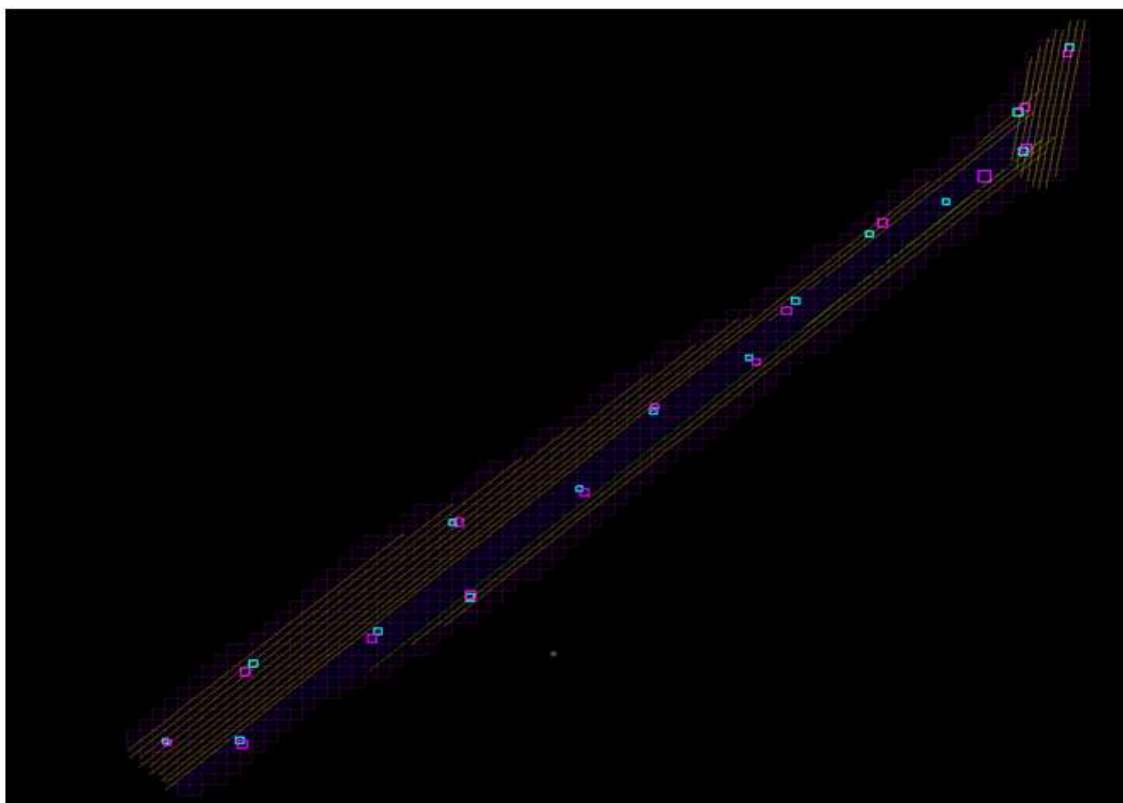


Figura 11. Disposición de las zonas de Control Interno Altimétrico en Almería (recuadros azules)

### 3.3.1.2 Procedimiento.

Señaladas las zonas se ha procedido al recorte de la misma pasada por pasada de tal manera que si el solape era de dos pasadas se ha obtenido un archivo de nube de puntos de la misma zona por cada una de ellas.

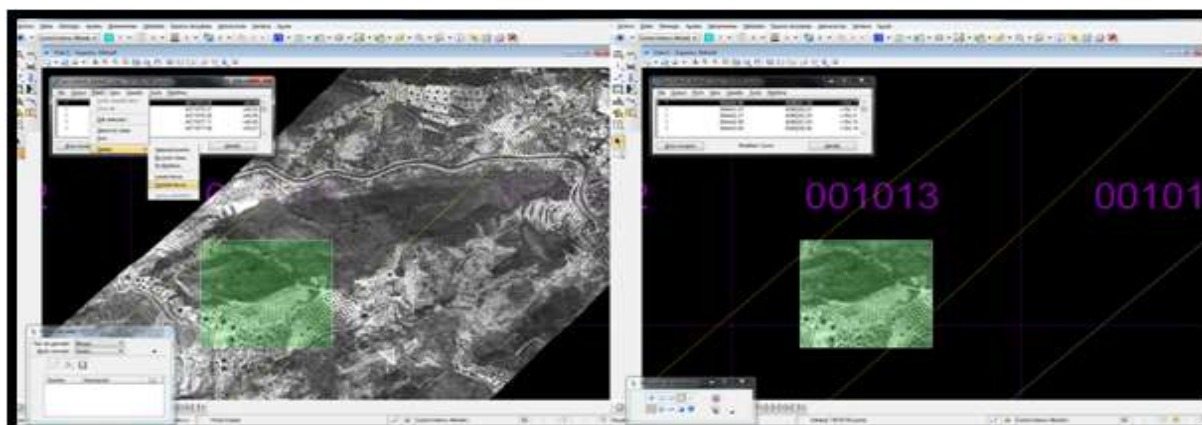


Figura 12. Recorte de una de las zonas sobre una de las pasadas

Los siguientes puntos se explicarán poniendo como ejemplo la zona 03 de Murcia a no ser que se especifique lo contrario.

### *3.3.1.2.1 Clasificación y eliminación de ruido.*

Una vez obtenidas las nubes de puntos, pasamos a la clasificación de estos utilizando el programa MDTop. Esta clasificación en parte será automática, ya que el programa ofrece herramientas que lo facilitan, pero también deberá ser completada manualmente. Para ello se trazan perfiles en el terreno en las zonas de interés de manera que el usuario es capaz de identificar a qué tipo de superficie corresponde cada punto y clasificarla según su criterio. Para diferenciar estos distintos tipos de terreno se ha utilizado la siguiente gama de colores.

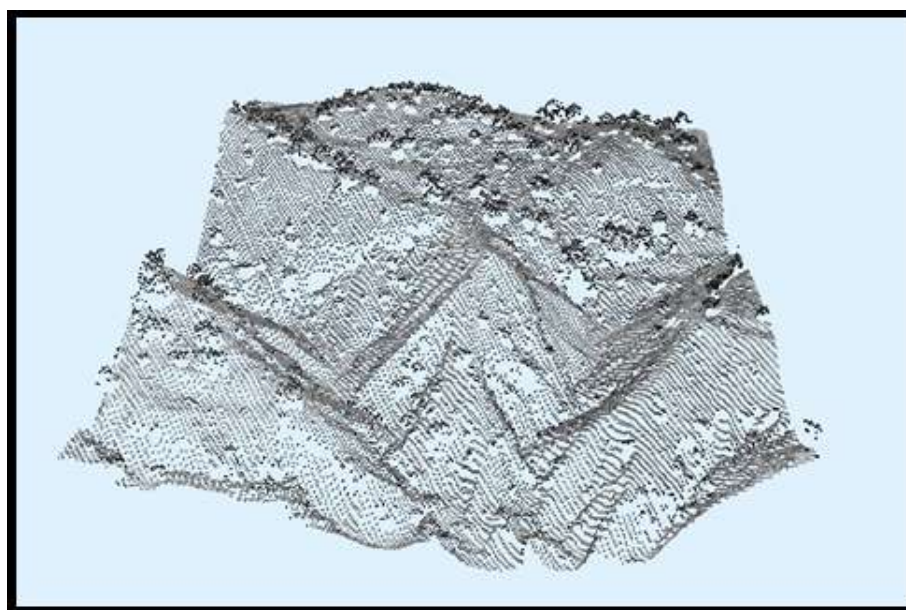


Figura 13. Nube de puntos sin clasificar. Mostrada según nivel de intensidad

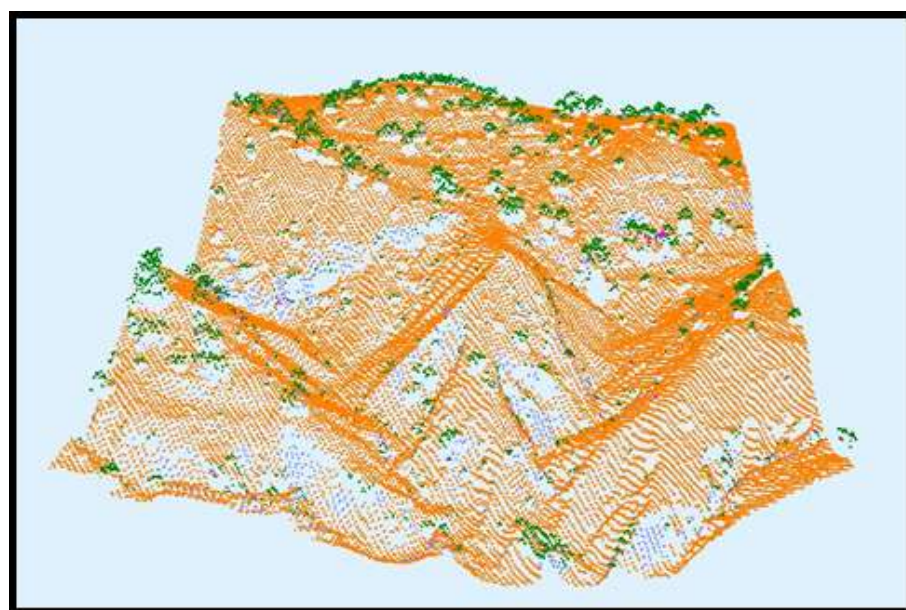


Figura 14. Nube de puntos clasificada. Mostrada según clasificación



Ver	Código	Rojo	Verde	Azul	Nemotécnico
<input checked="" type="checkbox"/>	2	255	128	0	Suelo
<input checked="" type="checkbox"/>	3	0	225	0	Vegetación baja
<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	164	0	Vegetación media
<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	128	0	Vegetación alta
<input checked="" type="checkbox"/>	6	128	128	128	Edificación

Figura 15. Clasificación de la nube de puntos. Gama de colores

Completada la clasificación, será preciso eliminar el ruido, esto es, eliminar aquellos puntos que por diversos motivos sean erróneos. El programa también incluye una herramienta que ayuda en este proceso, pero igualmente habrá que complementarlo manualmente del mismo modo que se reclasificaron el resto de puntos. Una vez identificados y seleccionados los puntos erróneos, estos deberán ser eliminados para que no afecten en futuros resultados al resto de la nube de puntos.

#### 3.3.1.2.2 Obtención de Modelos Digitales (MDT/MDS)

Tras haber realizado una clasificación en la que se ha indicado a que hace referencia cada punto, se procede a la comparación de los dos o más juegos de datos correspondientes a una de las zonas. Para ello generamos los MDT (modelos digital del terreno) y MDS (modelos digital de superficie) de una de las pasadas (en este caso se ha obtenido de la pasada que quedaba por debajo según los esquemas de las figuras 10 y 11) para posteriormente proyectar o superponer la nube de puntos (en nuestro caso de la pasada superior) de tal manera que sobre el MDT se proyecte o superponga una selección hecha en la que solo hay puntos clasificados como “suelo” (o también llamado nube de puntos “limpia” exenta de vegetación, edificaciones, etc...) y sobre el MDS se proyecte la nube de puntos tal y como es (con vegetación, edificaciones, etc...).

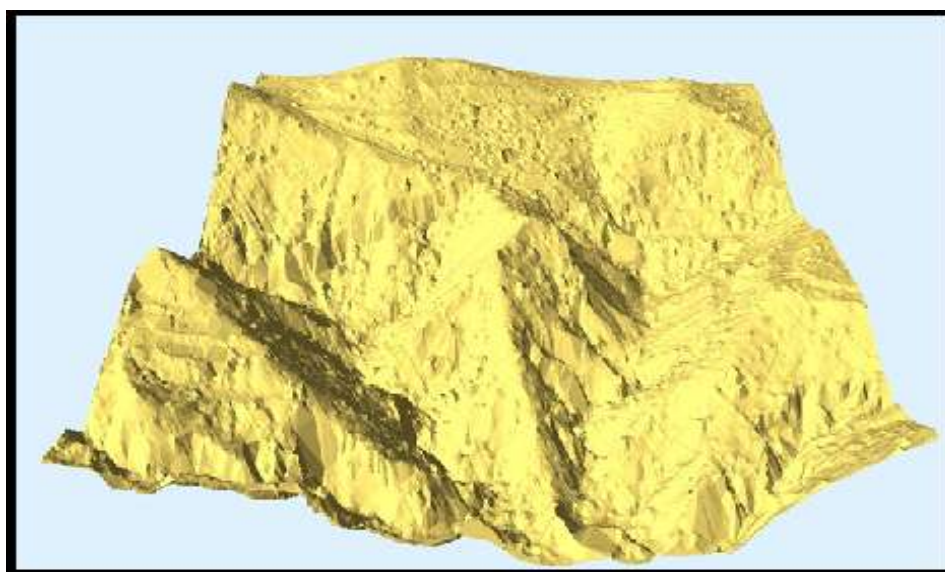


Figura 16. Modelo digital del terreno de la zona seleccionada



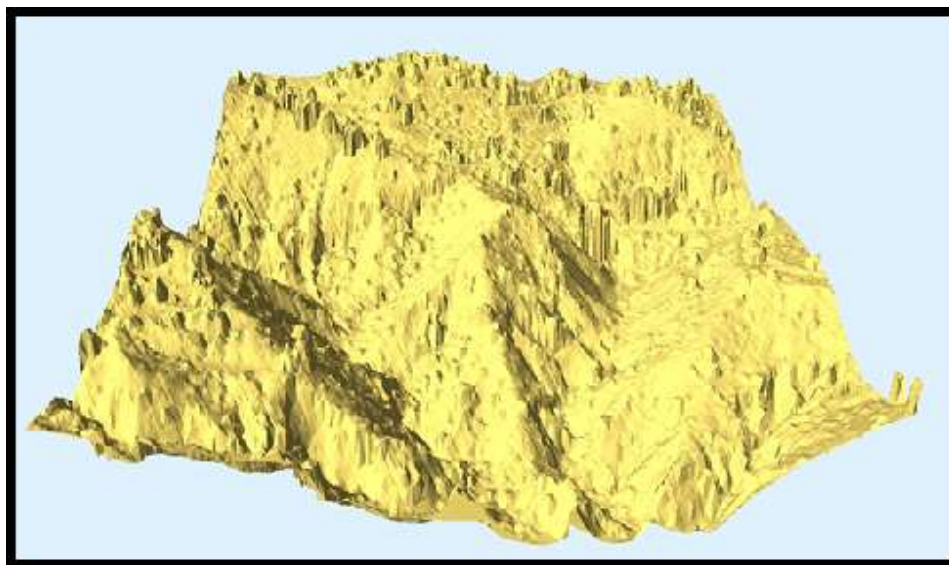


Figura 17. Modelo digital de superficie de la zona seleccionada

#### *3.3.1.2.3 Comparativa de la nube de puntos LiDAR entre pasadas.*

Proyectamos o superponemos las nubes de puntos de la pasada inferior sobre los modelos digitales de las nubes de puntos correspondientes a la zona en la pasada superior (nube de puntos “suelo” sobre MDT; nube de puntos “tal y como es” sobre MDS), dando lugar así a una salida gráfica y analítica de una serie de valores que suponen las diferencias altimétricas existentes entre la nube de puntos de una pasada y la nube de puntos de la otra, es decir, el error relativo entre pasadas.

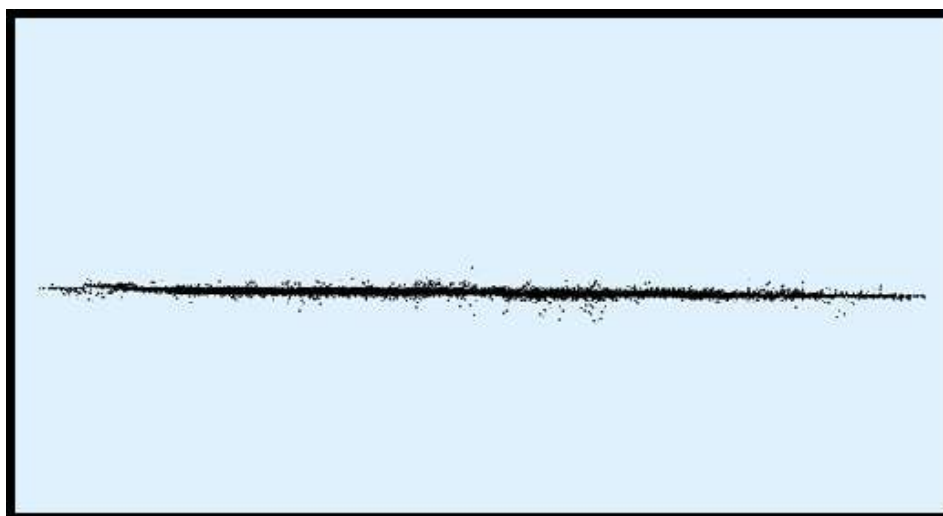


Figura 18. Representación de los errores altimétricos sobre un plano horizontal



La figura 18 correspondería con la salida gráfica que nos ofrece el programa al realizar la superposición ya descrita. En la imagen se observa la distribución de errores a lo largo de un plano horizontal colocados según las coordenadas de los puntos que se han comparado de manera que los puntos erróneos negativos se encuentran por debajo del plano horizontal mientras que los puntos erróneos positivos se encuentran por encima del plano horizontal el cual representaría un error de 0cm.

Punto	X	Y	Z	X2	Y2	Z2	Diferencia
594615.97	4098367.60	161.24	161.10	-0.14			
594616.67	4098366.92	161.35	161.52	0.17			
594617.36	4098366.22	161.04	160.48	-0.56			
594617.41	4098366.86	161.58	161.51	-0.07			
594616.70	4098367.56	161.61	161.65	0.04			
594615.99	4098368.26	161.55	Fuera				
594616.77	4098367.83	161.69	161.66	-0.03			
594617.47	4098367.14	161.66	161.63	-0.03			
594617.18	4098368.01	162.09	Fuera				
594617.67	4098367.94	162.16	Fuera				

Resumen :	
Media de las diferencias	= 0.03 m
Desviación típica	= 0.22 m
Valor máximo	= -3.67 m
Puntos comparados	= 45191
Puntos erróneos	= 38688
Puntos fuera	= 0

Figura 19. Datos analíticos obtenidos al superponer las nubes de puntos

La figura 19 correspondería con la salida analítica generada por el programa de la misma manera que la salida gráfica. Por cada superposición realizada se ha obtenido un documento en el cual se encuentran las coordenadas X e Y de cada uno de los puntos comparados, la altura del punto de la nube inferior y la altura del punto de la nube superior, la diferencia hallada entre ambas alturas y al final del documento un resumen con la media de las diferencias, desviación típica, valor máximo, puntos comparados, puntos erróneos y puntos fuera.

Estos datos son los presentados en la imagen puesta como ejemplo en la que podemos observar, sin entrar aún en detalles, que la superposición sobre modelo digital del terreno es más precisa que la superposición sobre modelo digital de superficie en la cual surgen un mayor número de puntos erróneos.

\*En el CD adjunto a la memoria se incluyen los 60 informes (30 MDT/30 MDS) pertenecientes a cada una de las zonas así como los archivos obtenidos en el proceso.

#### 3.3.1.2.4 Obtención de errores y tintas hipsométricas.

Para una mejor visualización de la salida gráfica obtenida después de superponer la nube de puntos de una pasada sobre la otra se han generado mapas de tintas hipsométricas. De esta manera con un simple vistazo se puede observar tanto la distribución de errores a lo largo de la zona como su magnitud representada mediante una escala de valores en la que cada color pertenece a un rango de error. Estas tintas hipsométricas se han hallado generando un MDT a partir de la salida gráfica y superponiendo sobre este la siguiente escala de colores.

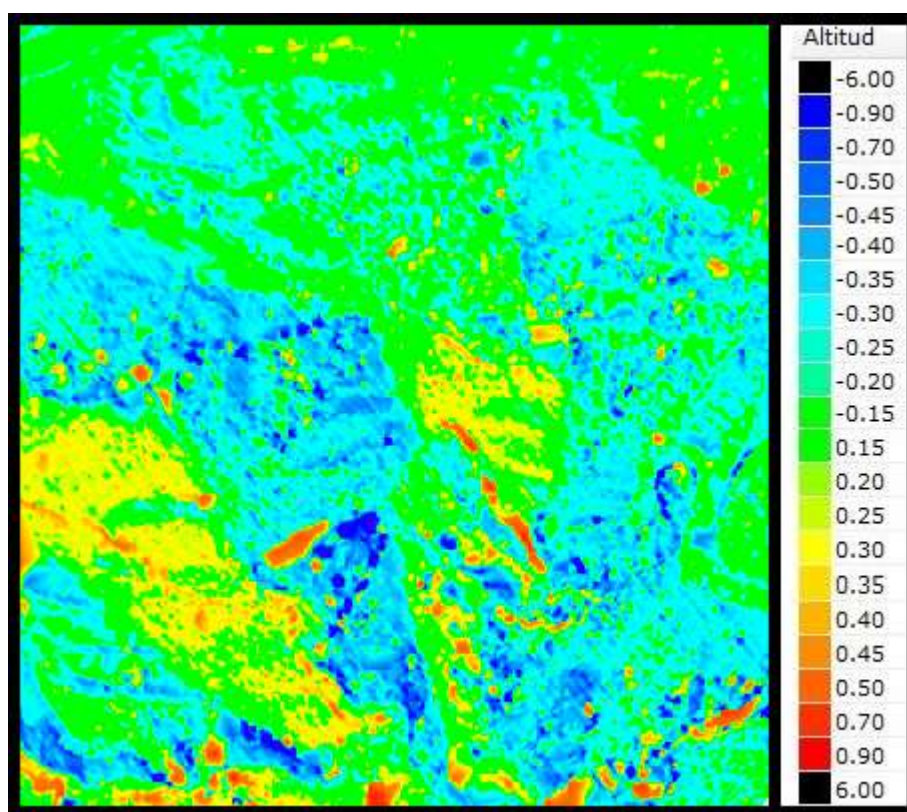


Figura 20. Mapa de tintas hipsométricas del error

Con estas imágenes podemos evaluar a simple vista la calidad de la información LiDAR y hacernos una idea de posibles errores sistemáticos que se estén produciendo. En el caso de la anterior imagen podemos observar que, teniendo en cuenta que la dirección del vuelo es desde la esquina superior izquierda hacia la esquina inferior derecha y el barrido se ha producido de la de izquierda a derecha, los errores tienden a ser negativos en vegetación y montaña por la cara que da hacia la derecha de la imagen y positivos por la cara que da hacia la izquierda de la imagen, es decir, que siguiendo la dirección del vuelo en los elementos como pendientes o árboles la cara que sea barrida primero estará por encima del modelo digital del terreno mientras que la cara que dé al otro lado y sea barrida posteriormente quedará por debajo del modelo digital del terreno.

\*En el CD adjunto a la memoria se incluyen el resto de tintas hipsométricas de las 30 zonas ya sean resultantes de MDT o MDS.

#### 3.3.1.2.5 Estadísticos (Murcia y Almería).

Al contar con una gran cantidad de datos es posible realizar un estudio estadístico de todos los informes generados en cada una de las superposiciones que tuviera la zona. EL proceso se ha realizado en nuestro caso de las 30 zonas seleccionadas entre Murcia y Almería por lo que hay resultados de todas ellas. Sin embargo, en este documento vamos a explicar el estudio estadístico realizado sobre 2 de las 30 zonas, una perteneciente a Murcia y otra perteneciente a Almería. El criterio que se ha seguido para escoger estas 2 zonas es la cantidad de solapes entre pasadas ya sea





de manera paralela o transversal. Ambas zonas cuentan con un solape de entre 4 y 5 pasadas en los cuales en cada recorte de la zona se ha llegado a comparar entre 30000 y 60000 puntos.

### Almería.

En el caso del análisis estadístico correspondiente a Almería el estudio se ha realizado de la zona 3 (tercer cuadrado azul en la figura 11). Como podemos observar en el gráfico ampliado de esa zona que se adjunta a continuación está compuesta por 5 pasadas y cada uno de los colores de estas indica el día que se hizo el vuelo. De manera que contamos con una comparación entre pasadas de 3 días distintos.

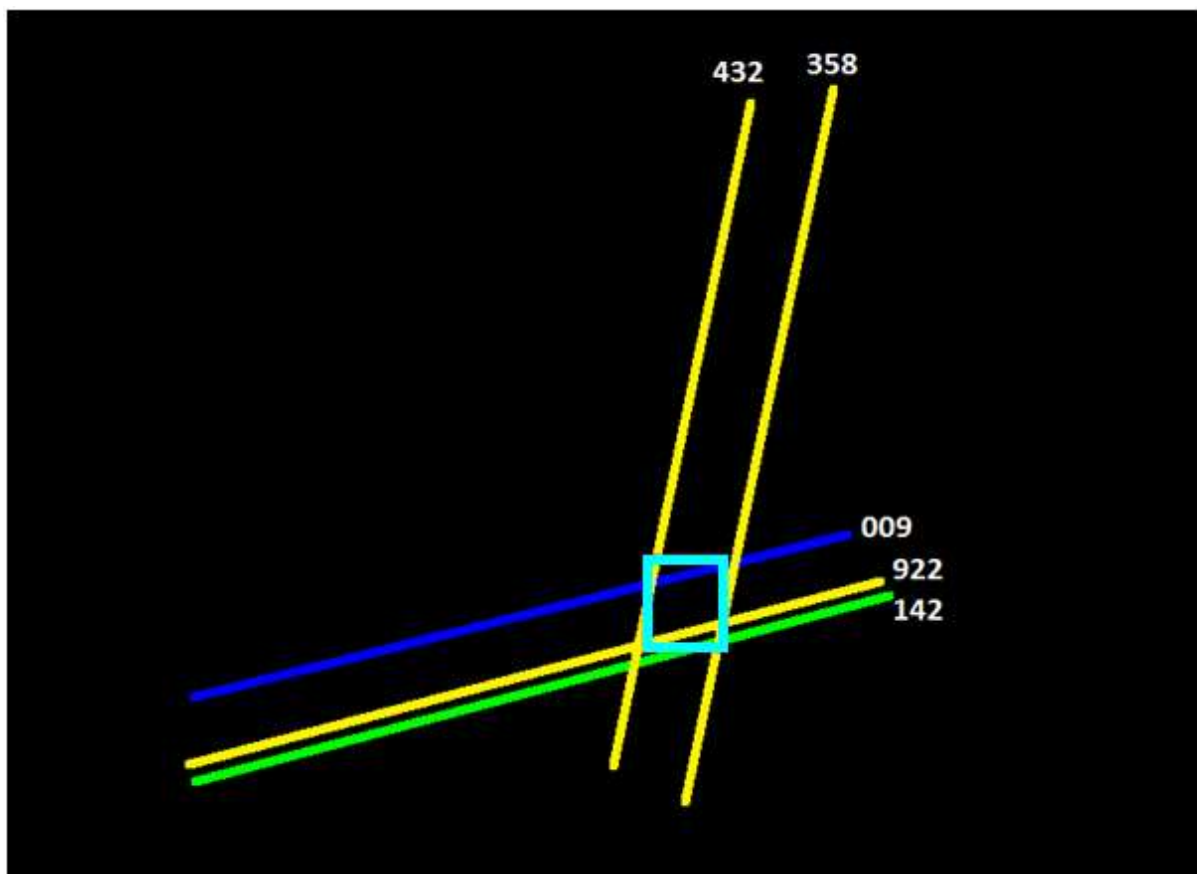


Figura 21. Disposición de las pasadas (Zona 3)

Una vez realizadas todas las comparaciones entra pasadas, el programa nos habrá generado un archivo .txt en el cual vendrán indicadas una serie de características como son: el número de punto comparado, sus coordenadas X e Y, la Z origen de una de las pasadas, la Z de la otra y la diferencia entre ambas. Esta última característica es la que se ha utilizado en el estudio estadístico.



En resumen, si hay 5 pasadas y se han realizado comparaciones dos a dos contaremos con 20 archivos .txt cada uno con su columna de diferencias las cuales deberemos comparar para ver si todas siguen la misma tendencia ya sea la comparación entre pasadas paralelas o transversales o que las direcciones de vuelo o el día que se realizó este sean distintos.

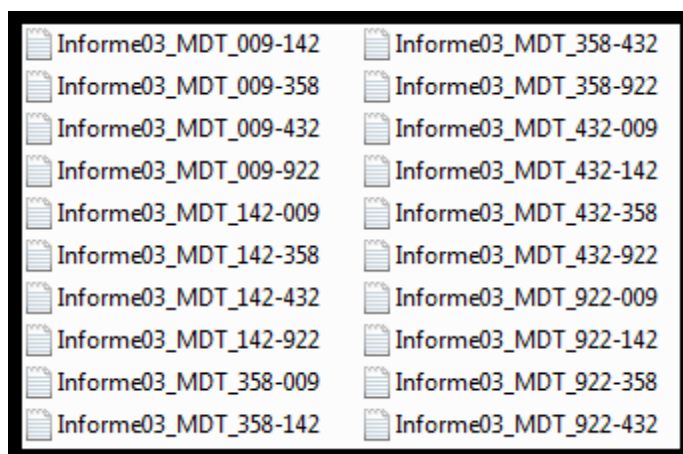


Figura 22. Informes resultado de las comparaciones

Informe03_MDT_009-142: Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
Tipo	X	Y	Z orig	Z proy	dif
Punto	600155.12	4101587.02	252.80	252.77	-0.03
Punto	600156.22	4101587.00	253.34	253.38	0.04
Punto	600155.66	4101587.62	253.10	253.15	0.05
Punto	600155.54	4101588.32	252.89	252.92	0.03
Punto	600156.10	4101587.70	253.10	253.05	-0.05
Punto	600156.66	4101587.08	253.34	253.40	0.06
Punto	600157.58	4101587.17	253.46	253.52	0.06
Punto	600157.02	4101587.79	253.34	253.41	0.07
Punto	600156.47	4101588.41	253.24	253.33	0.09
Punto	600155.92	4101589.02	253.20	253.33	0.13
Punto	600155.35	4101589.65	252.87	252.93	0.06
Punto	600155.48	4101590.16	252.88	252.93	0.05
Punto	600156.05	4101589.53	253.23	253.33	0.10
Punto	600156.59	4101588.93	253.29	253.40	0.11
Punto	600157.16	4101588.30	253.56	253.78	0.22 *
Punto	600157.70	4101587.70	253.60	253.68	0.08
Punto	600158.24	4101587.09	253.48	253.48	0.00
Punto	600159.25	4101587.15	253.89	253.95	0.06
Punto	600158.69	4101587.77	253.78	253.84	0.06
Punto	600158.12	4101588.41	253.51	253.48	-0.03
Punto	600157.58	4101589.02	253.58	253.71	0.13
Punto	600157.03	4101589.63	253.60	253.70	0.10
Punto	600156.45	4101590.27	253.07	253.05	-0.02
Punto	600155.90	4101590.88	253.15	253.25	0.10

Figura 23. Datos en los informes



Como ya se dijo antes, de estos informes nos quedaremos con la columna llamada “dif”. Aunque se han obtenido 20 informes de la zona 3 en el estudio estadístico no se han introducido todas. Como se aprecia en la figura 22 las comparaciones se han realizado en ambos sentidos, es decir, si las pasadas son 009 y 142 la comparación se ha realizado en sentido 009-142 y viceversa (142-009), debido a que en ambos sentidos el resultado es el mismo en el estudio estadístico se ha incluido uno de los dos informes.

El siguiente resumen estadístico corresponde pues con los resultados obtenidos de introducir en Statgraphics la columna “dif” de cada uno de los informes sin redundar en soluciones.

	Pda. 009 - 142	Pda. 009 - 432	Pda. 009 - 358	Pda. 009 - 922	Pda. 142 - 358
Recuento	61296	53241	36264	60765	36202
Promedio	0,150	0,205	0,137	0,140	0,112
Media Recortada 5%	0,108	0,185	0,116	0,120	0,093
Desviación Estándar	0,282	0,187	0,155	0,149	0,144
Error Estándar	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Máximo	4,870	3,250	2,660	2,100	3,880
Rango	4,870	3,250	2,660	2,100	3,880
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001

Figura 24. Primer resumen estadístico

	Pda. 142 - 432	Pda. 142 - 922	Pda. 358 - 432	Pda. 358 - 922	Pda. 432 - 922
Recuento	53473	60666	53473	60662	57907
Promedio	0,224	0,119	0,205	0,149	0,293
Media Recortada 5%	0,204	0,104	0,184	0,134	0,272
Desviación Estándar	0,196	0,131	0,196	0,139	0,237
Error Estándar	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Máximo	2,800	4,250	2,800	2,460	4,000
Rango	2,800	4,250	2,800	2,460	4,000
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002

Figura 25. Segundo resumen estadístico

Podemos concluir pues que las medias de los errores se encuentran en un abanico de 20 cm que es la tolerancia que podemos esperar de los sistemas LiDAR.

Se ha comprobado además la precisión de estas medias asegurando así su veracidad.



Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Pda. 009 - 142	0,002	0,150	0,150±0,002
Pda. 009 - 432	0,002	0,205	0,205±0,002
Pda. 009 - 358	0,002	0,137	0,137±0,002
Pda. 009 - 922	0,001	0,140	0,140±0,001
Pda. 142 - 358	0,001	0,112	0,112±0,001
Pda. 142 - 432	0,002	0,224	0,224±0,002
Pda. 142 - 922	0,001	0,119	0,119±0,001
Pda. 358 - 432	0,002	0,205	0,205±0,002
Pda. 358 - 922	0,001	0,149	0,149±0,001
Pda. 432 - 922	0,002	0,293	0,293±0,002

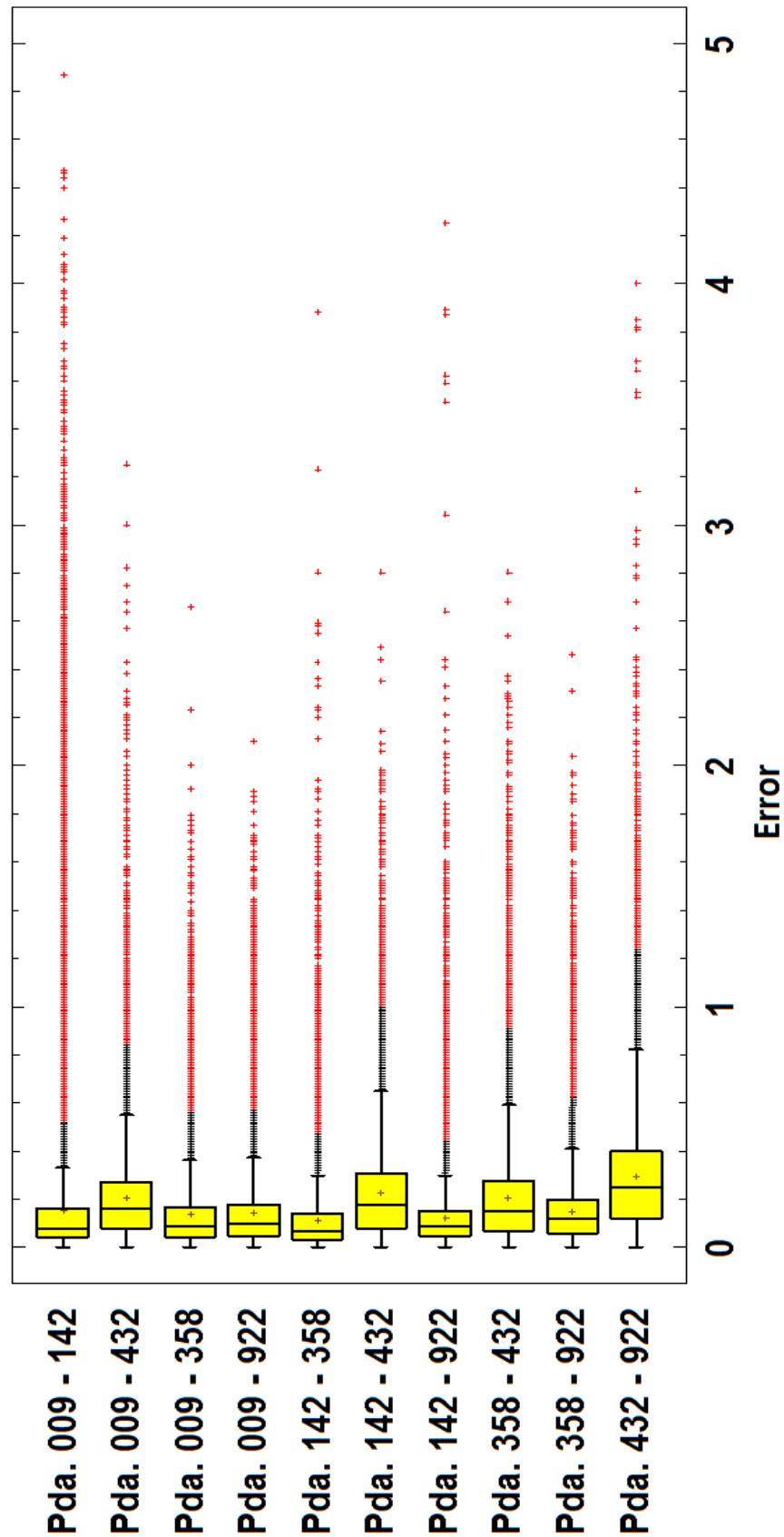
Figura 26. Precisión de los promedios

Para una visión más gráfica de estos datos se ha obtenido un gráfico de caja y bigotes. El gráfico proporciona una idea de la tendencia central del conjunto de datos, la dispersión de los mismos y la posible presencia de valores atípicos. En nuestro caso observamos que las cajas son muy estrechas indicando poca dispersión de datos y, por otro lado, se observan unos pocos valores atípicos, con respecto al número total de la población, en un extremo.

El diagrama está construido de la siguiente manera:

- ❖ Se dibuja una caja extendiéndose del cuartíl inferior (25%) de la muestral al cuartíl superior (75%). Esto es un intervalo cubierto por la mitad de los datos (50%) cuyos valores fueron ordenados de menor a mayor (relleno amarillo).
- ❖ La línea vertical negra en el interior de la caja muestra la mediana (mitad de los datos).
- ❖ Con un signo (+) negro se indica la localización de la media muestral o promedio.
- ❖ Los bigotes se dibujan a la izquierda y derecha de la caja indicando los valores más grandes y pequeños de los datos, a menos que existan valores inusuales muy lejanos a la caja (Tukey los llamaba puntos atípicos). Los puntos atípicos, son aquellos puntos más allá de 1.5 veces el rango intercuartil y se dibujan a la izquierda o derecha de la caja, representándose por un cuadrado. Cualquier punto más allá de 3 veces el rango intercuartil a la izquierda o derecha de la caja se llaman puntos extremos, y se indican por un cuadrado con un signo más (+) rojo dentro de él. Para una mejor visualización del mismo se ha dedicado la siguiente página en horizontal.

**Gráfico de Caja y Bigotes**





Las siguientes tintas hipsométricas son las resultantes del proceso explicado en el punto 3.3.1.2.4 pero esta vez centradas en la zona 3 de Almería que es la que nos ocupa a la cual pertenece el siguiente MDT con el que nos podemos hacer una idea de la orografía de la zona y de dónde se están produciendo los errores. Se han dividido en 3 grupos según las características que tienen en común.

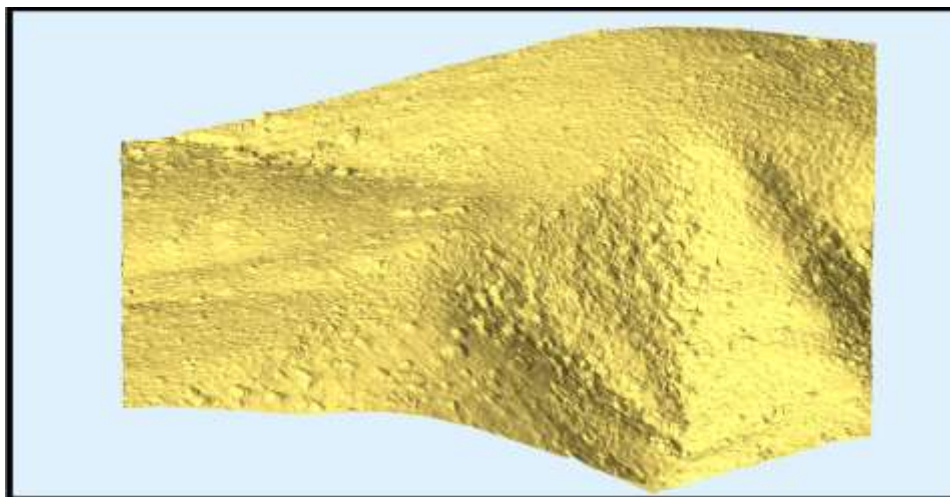


Figura 28. MDT

El primer grupo se corresponde con las dos siguientes figuras 29 y 30 en las que apreciamos que tienen en común la pasada 432 la cual está produciendo un error. Se observa un sistematismo a un lado y a otro de la cumbre del cerro. Aún así analíticamente no son errores significativos.

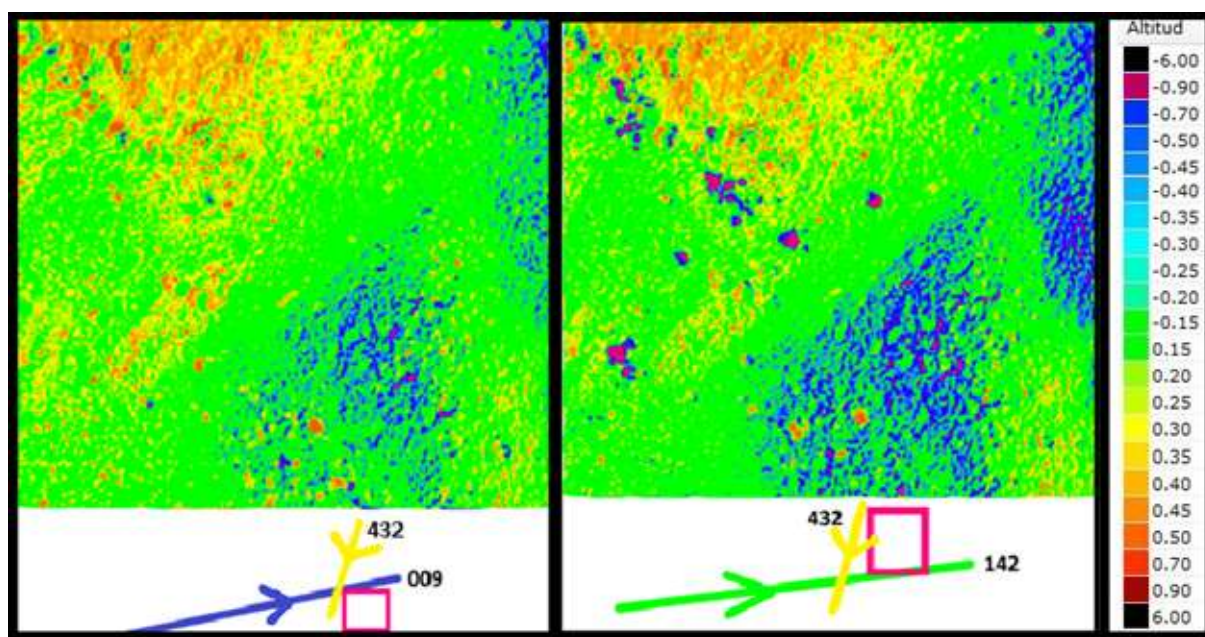


Figura 29. Tintas hipsométricas

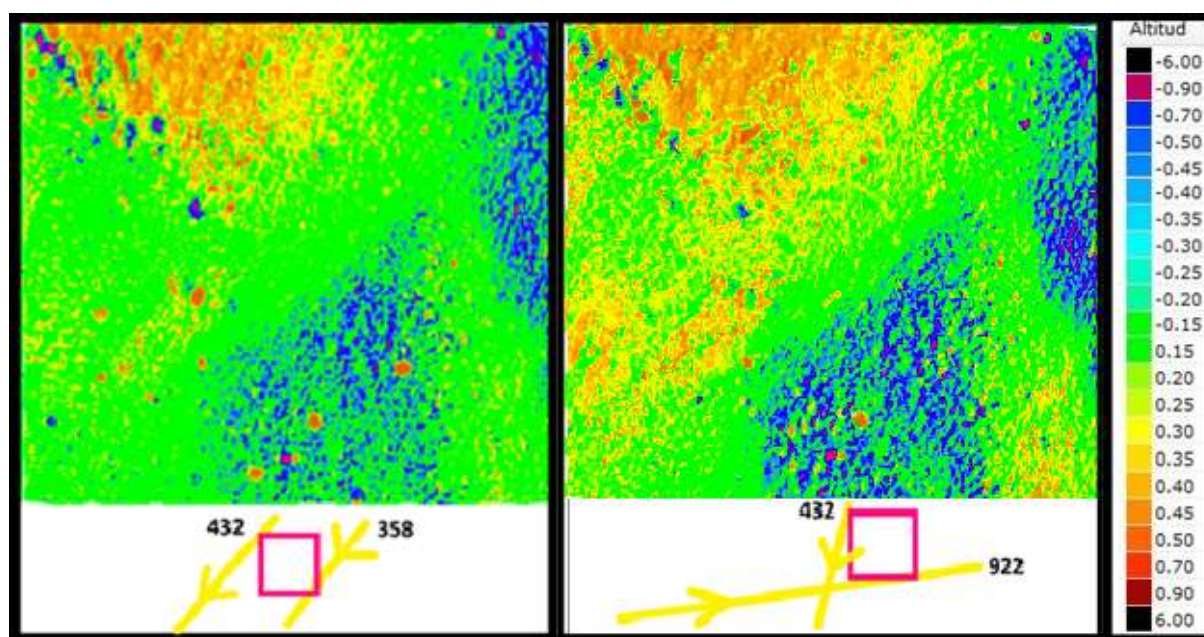


Figura 30. Tintas hipsométricas

Este sistematismo puede ser producido por el sensor debido al ángulo del barrido a consecuencia del terreno.

Si nos fijamos en la gráfica de caja y bigotes anterior a las tintas hipsométricas también queda reflejado dicho sistematismo ya que las cajas correspondientes a las comparaciones con la pasada 432 muestran una mayor dispersión.

El segundo grupo corresponde con la siguiente imagen en la que se aprecia muy poca dispersión. Ambas comparaciones tienen la pasada 009 en común.

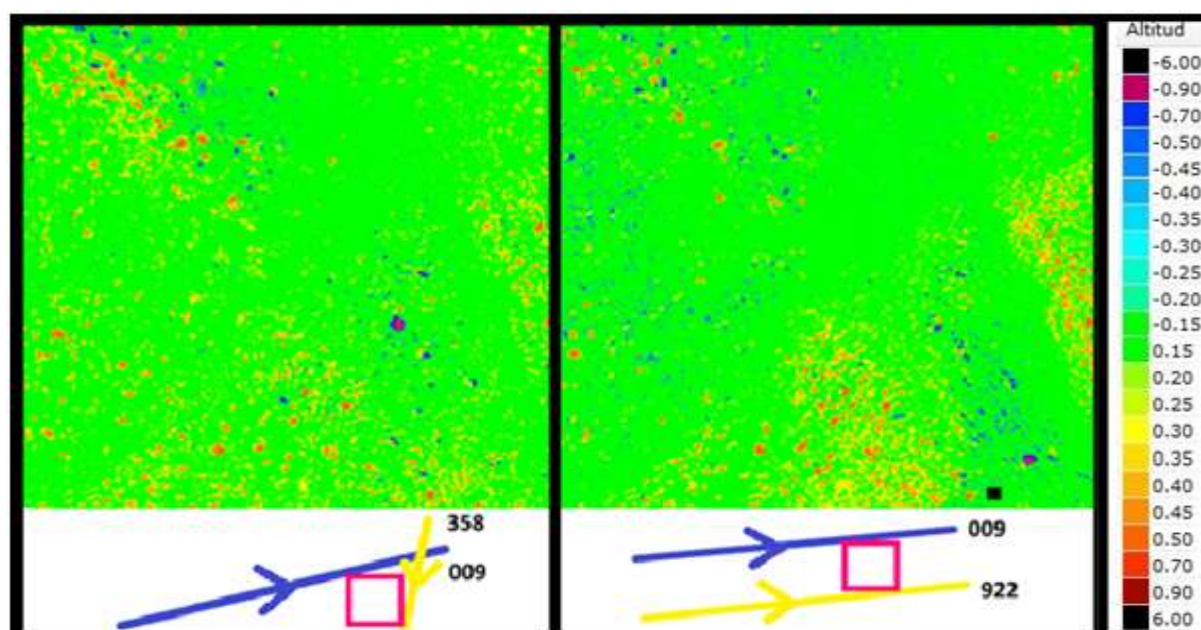


Figura 31. Tintas hipsométricas





Si volvemos a mirar el gráfico de caja y bigotes comprobamos de nuevo que lo que las tintas hipsométricas nos muestra coincide con la poca dispersión de las cajas correspondientes a ambas comparaciones.

El tercer grupo lo formarían el resto de las comparaciones de esta zona. Nuevamente vemos que excepto la última imagen tienen la pasada 142 en común. Se podría incluso apartar en otro grupo dicha última imagen.

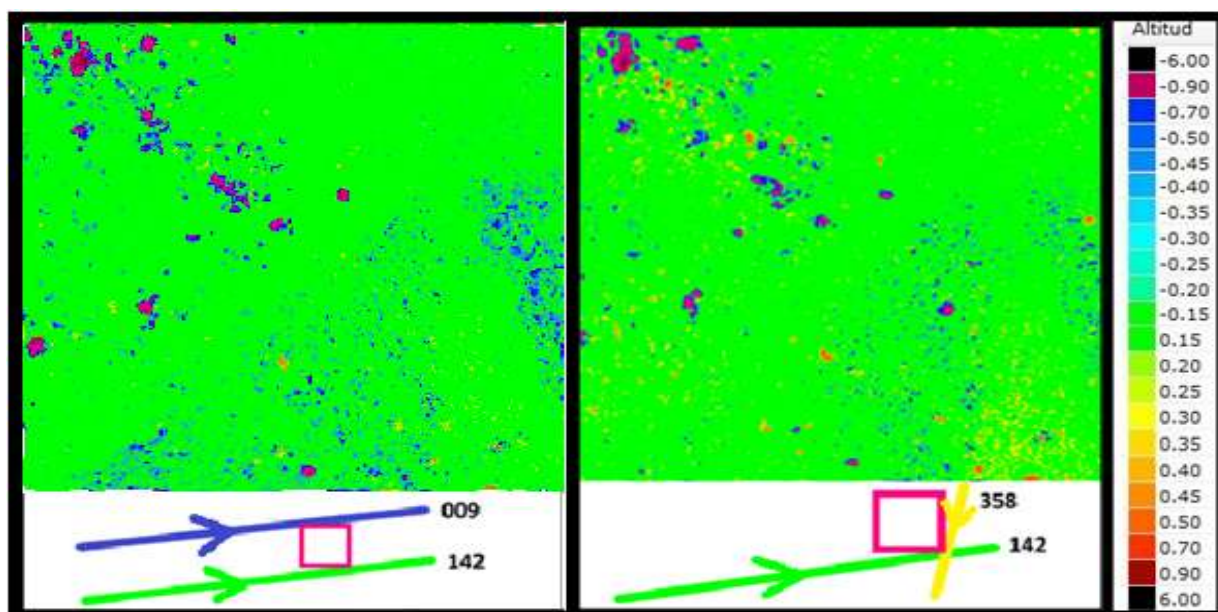


Figura 32. Tintas hipsométricas

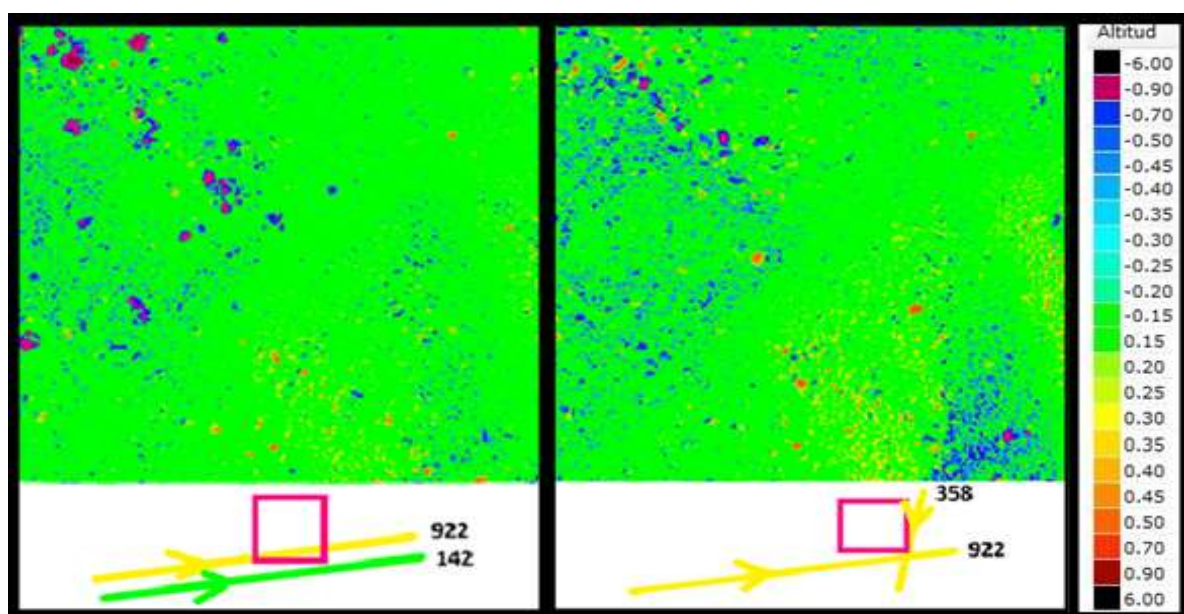


Figura 33. Tintas hipsométricas





### **Murcia.**

En el caso del análisis estadístico correspondiente a Murcia el estudio se ha realizado de la zona 3 (tercer cuadrado azul en la figura 10). Como podemos observar en el gráfico ampliado de esa zona que se adjunta a continuación está compuesta por 4 pasadas y cada uno de los colores de estas indica el día que se hizo el vuelo. De manera que contamos con una comparación entre pasadas de 2 días distintos.

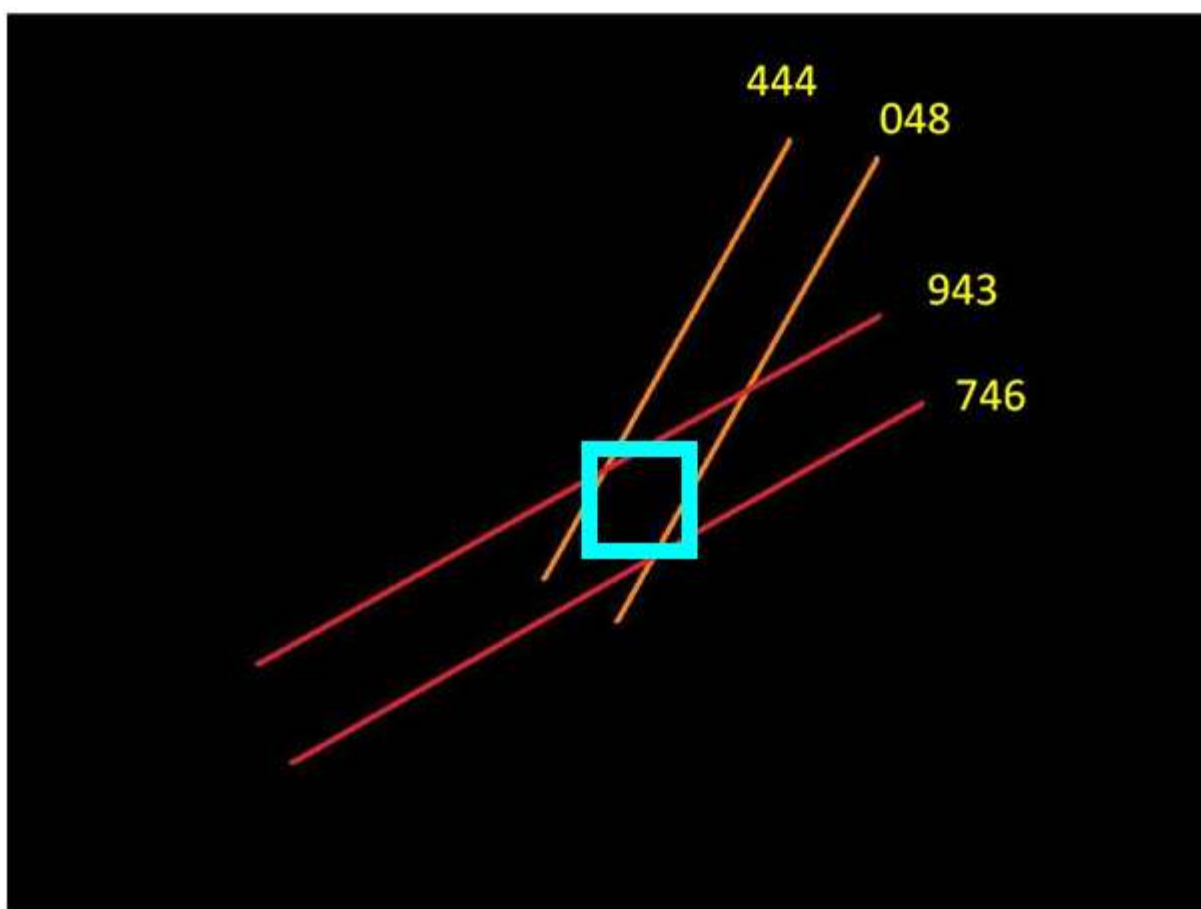


Figura 34. Disposición de las pasadas (Zona 3)

Una vez realizadas todas las comparaciones entra pasadas, el programa nos habrá generado un archivo .txt en el cual vendrán indicadas una serie de características como son: el número de punto comparado, sus coordenadas X e Y, la Z origen de una de las pasadas, la Z de la otra y la diferencia entre ambas. Esta última característica es la que se ha utilizado en el estudio estadístico.

Estos informes tendrán el mismo aspecto que los generados anteriormente para la zona de Almería (figuras 22 y 23).



Como ya se hiciera con el ejemplo estadístico de Almería adjuntamos los resultados obtenidos al introducir en statgraphics la columna “dif” de cada uno de los informes sin redundar en soluciones.

	Pda. 048 - 444	Pda. 048 - 746	Pda. 048 - 943	Pda. 444 - 746	Pda. 444 - 943	Pda. 746 - 943
Recuento	39652	39642	39644	35360	35365	29618,000
Promedio	0,093	0,084	0,116	0,051	0,115	0,084
Media Recortada 5%	0,079	0,075	0,109	0,040	0,092	0,068
Desviación Estándar	0,097	0,071	0,066	0,076	0,158	0,121
Error Estándar	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Máximo	1,820	2,010	2,210	2,320	2,750	2,970
Rango	1,820	2,010	2,210	2,320	2,750	2,970
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001

Figura 35. Resumen estadístico

Podemos concluir igual que con Almería que las medias de los errores se encuentran en un abanico de 20 cm que es la tolerancia que podemos esperar de los sistemas LiDAR.

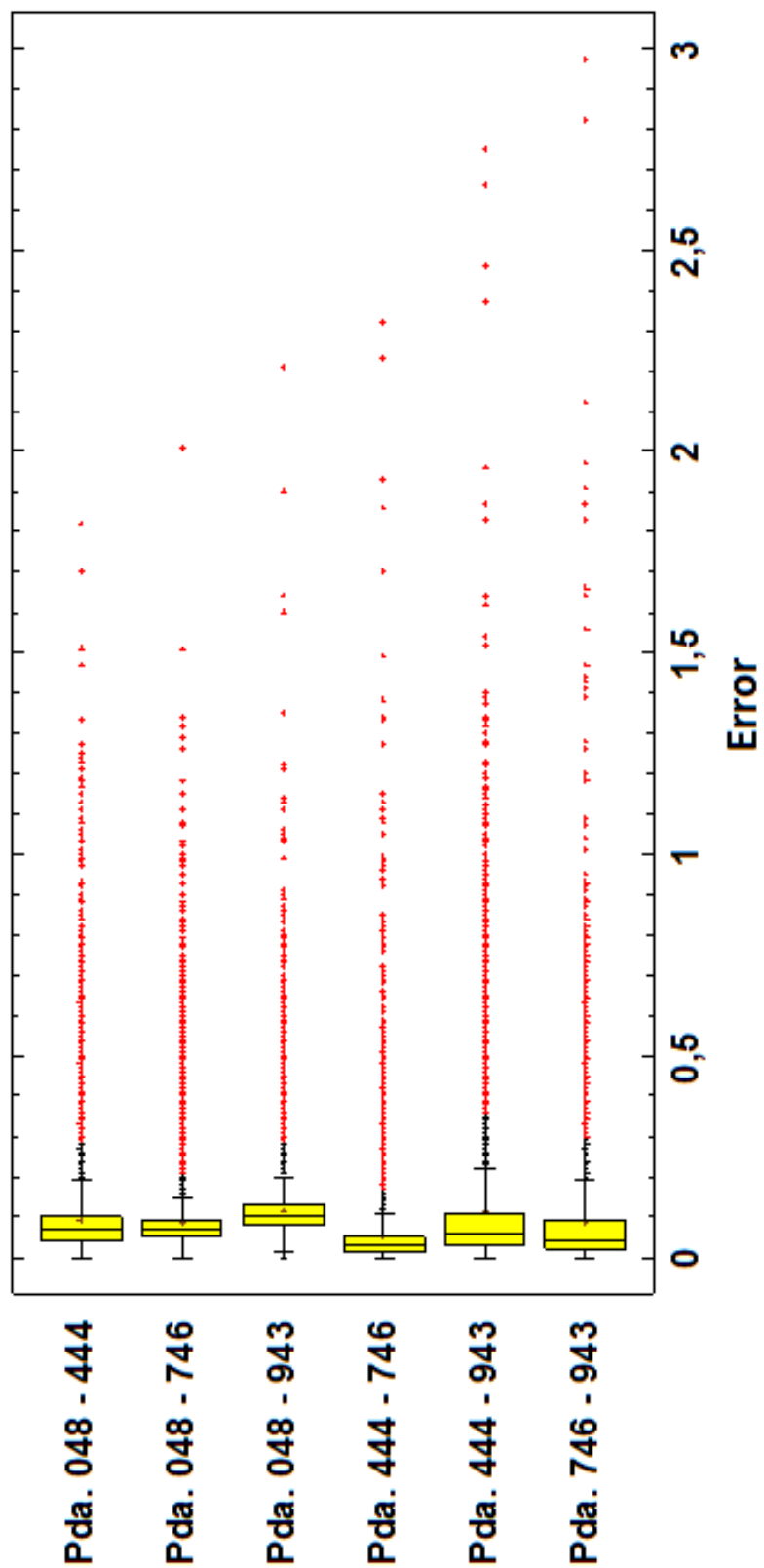
Se ha comprobado además la precisión de estas medias asegurando así su veracidad.

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Pda. 048 - 444	0,001	0,093	0,093±0,001
Pda. 048 - 746	0,001	0,084	0,084±0,001
Pda. 048 - 943	0,001	0,116	0,116±0,001
Pda. 444 - 746	0,001	0,051	0,051±0,001
Pda. 444 - 943	0,002	0,115	0,115±0,002
Pda. 746 - 943	0,001	0,084	0,084±0,001

Figura 36. Precisión de los promedios

Adjuntamos también el gráfico de caja y bigotes perteneciente a esta zona a continuación.

**Gráfico Caja y Bigotes**



Las siguientes tintas hipsométricas son las resultantes del proceso explicado en el punto 3.3.1.2.4 pero esta vez centradas en la zona 3 de Murcia que es la que nos ocupa a la cual pertenece el siguiente MDT con el que nos podemos hacer una idea de la orografía de la zona y de dónde se están produciendo los errores. Se han dividido en 3 grupos según las características que tienen en común.

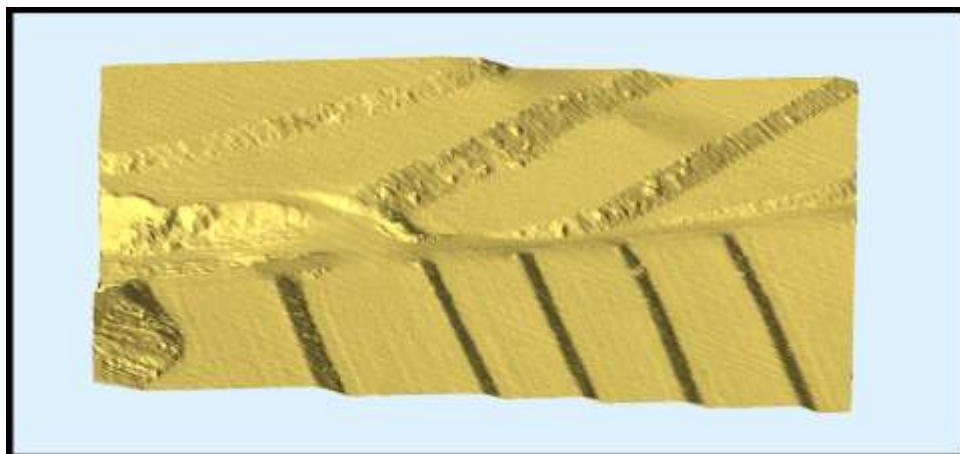


Figura 38. MDT

El primer grupo lo forman las tintas de la figura 39. Se ha formado este grupo no porque tengan las tintas algo en común sino porque son totalmente contrarias; La primera imagen corresponde con la comparación entre pasadas en la que se ha producido menor error. En el esquema se observa que las pasadas 048 y 746 se encuentran al sur de la zona, dirección desde la cual los taludes quedan bastante bien barridos por el sensor láser. Por otro lado, la segunda imagen, corresponde con la comparación entre pasadas en la que se ha producido mayor error. En el esquema se observa que las pasadas 444 y 943 se encuentran al norte de la zona, dirección desde la cual los taludes al estar en contra de dichas pasadas son difícilmente barridos por el sensor láser.

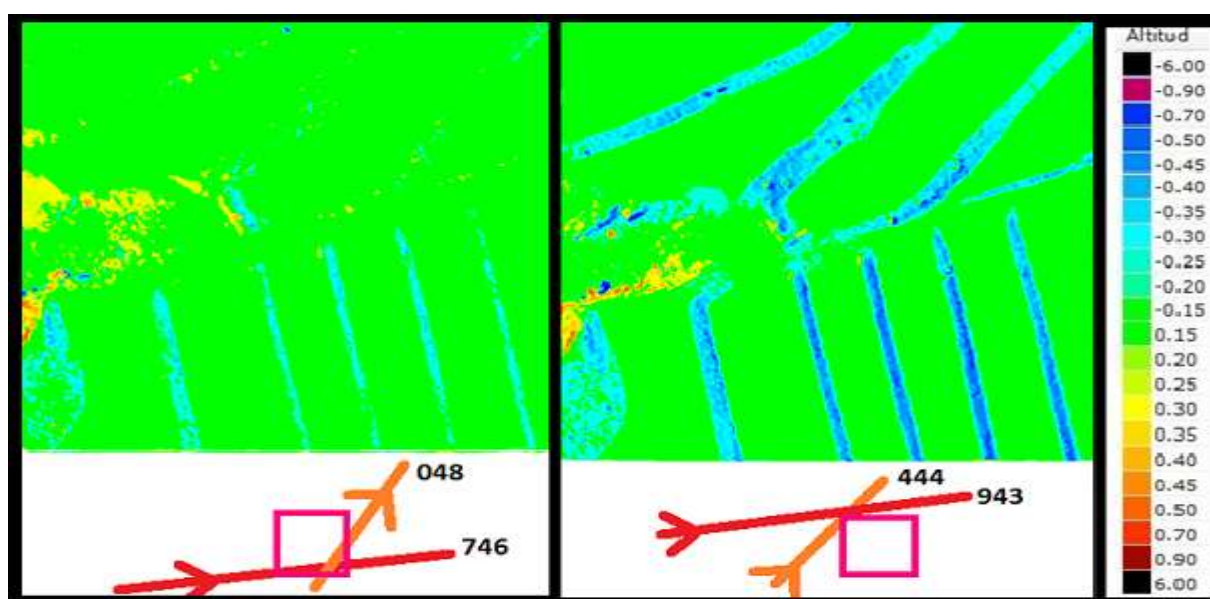


Figura 39. Tintas hipsométricas



También se puede apreciar esta diferencia en el gráfico de caja y bigotes anterior a las tintas. En él se observa que la caja que representa la comparación entre las pasadas 048-746 es una de las más estrechas lo cual nos muestra la poca dispersión que posee el error, mientras que la caja que representa la comparación entre pasadas 444-943 es una de las más grandes, es decir, presenta una mayor dispersión del error. Aún así entre ambas comparaciones y como se puede comprobar en la figura 36 estaríamos hablando de una diferencia de promedios de 3 cm, lo que es una diferencia de error mínimo.

El siguiente grupo lo forman las tintas de la figura 40 y 41. En ellas se observa un error intermedio en comparación con las tintas de la figura 38. Dentro de este grupo se podría hacer dos subgrupos ya que si nos fijamos en los esquemas vemos que en las dos primeras tintas las pasadas son paralelas una a cada lado de la zona mientras que si nos fijamos en el esquema de las dos siguientes tintas estas corresponden a comparaciones entre pasadas transversales.

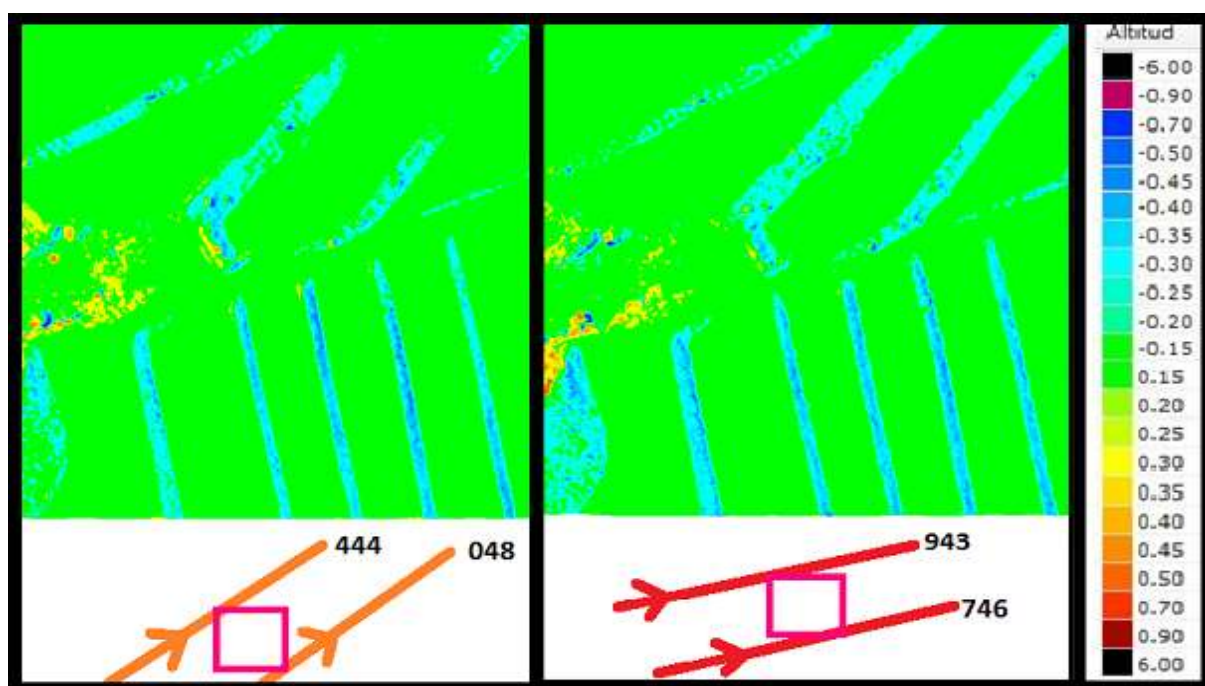


Figura 40. Tintas Hipsométricas

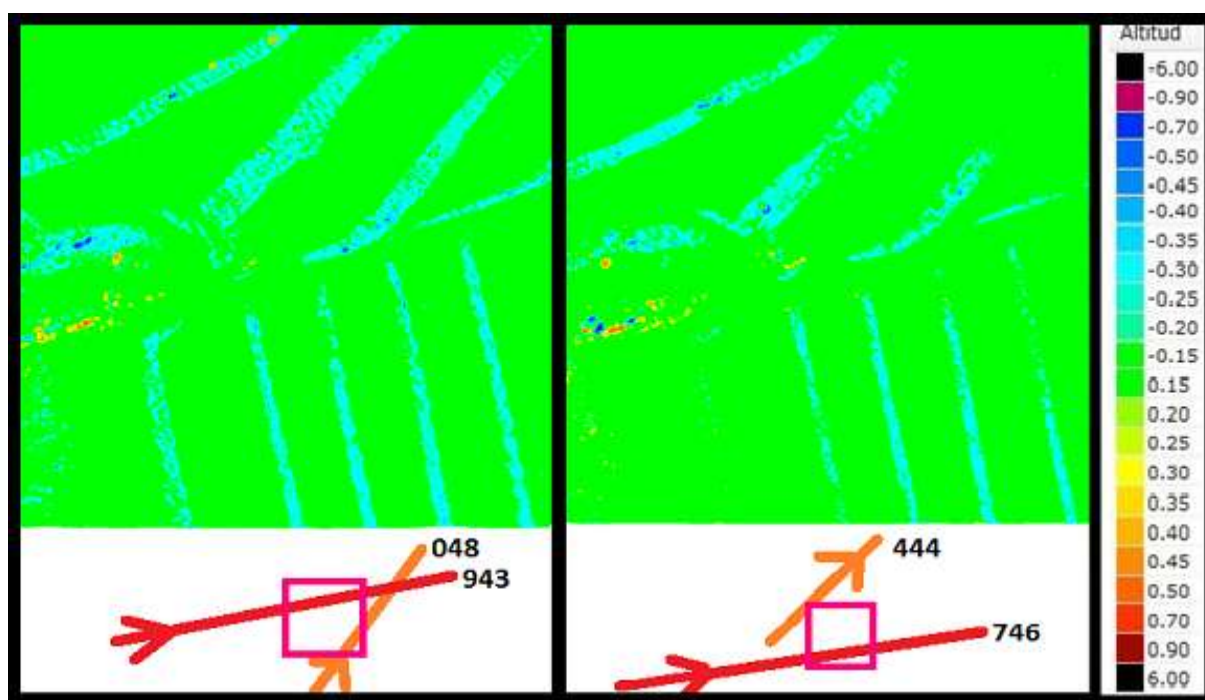


Figura 41. Tintas hipsométricas

Sin embargo, se ha decidido incluirlas en un mismo grupo debido a que ya sea porque las pasadas son paralelas o transversales muestra casi el mismo error y por tanto un sistematismo. A consecuencia de la orografía de la zona y a que cada una de las pasadas barre desde un punto contrario vemos que el error que produce una no lo produce la otra y viceversa y al comparar ambas pasadas ambos errores quedan reflejados en mayor o menor medida.

Tras estudiar estos dos ejemplos, uno perteneciente a Murcia y otro perteneciente a Almería, se han obtenido unas conclusiones generales con las que se pretende guiar a la hora de evaluar futuros trabajos realizados con sensor LiDAR.

Se ha observado que dependiendo de la dirección de vuelo según se produzca el barrido del sensor láser desde el medio hacia la izquierda o hacia la derecha y según sea la orografía del lugar la nube puntos LiDAR quedará por encima o por debajo del terreno (como se pudo ver en el apartado 3.3.1.2.4 debajo de la figura 20).

A consecuencia de esto se ha llegado a la conclusión de que a la hora de realizar un vuelo se ha de tener en cuenta que el avión vaya paralelo a la dirección dominante de la topografía del lugar, de esta manera se minimizan los errores sistemáticos que se manifiestan en zonas con mayores diferencias de desnivel (sierras, montañas, taludes...).





### 3.3.2 Control Interno Planimétrico.

Este tipo de control implica el estudio y valoración del error planimétrico que pudiera existir entre las distintas pasadas. Para llevarlo a cabo, de la misma manera que se hizo en el control interno altimétrico, se analizan nuevamente las pasadas con el fin de encontrar zonas óptimas en las que poder realizar en este caso el control interno planimétrico.

#### 3.3.2.1 Datos de partida.

En esta búsqueda se han tenido en cuenta zonas en las que se pudiera garantizar un posado en X, Y y Z (aparcamientos, carreteras...) o en su defecto al menos un buen posado en X e Y (superficies bien definidas como azoteas muy marcadas, invernaderos...). Finalmente se han elegido 30 zonas (15 pertenecientes a Murcia y 15 pertenecientes a Almería).



Figura 42. Disposición de las zonas de Control Interno Planimétrico en Murcia (recuadros fucsias)

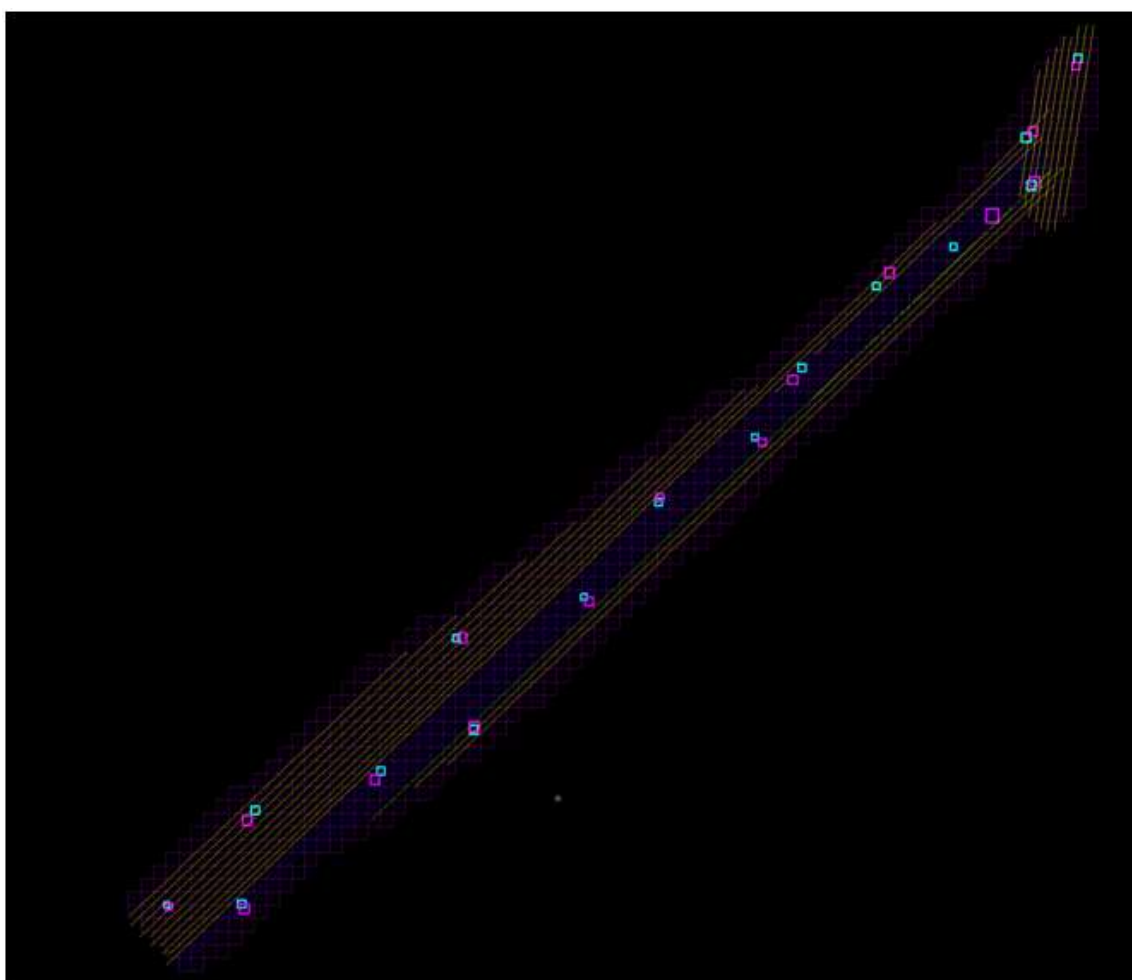


Figura 43. Disposición de las zonas de Control Interno Planimétrico en Almería (recuadros fucsias)

### 3.3.2.2 Procedimiento.

La información recogida por los sensores LiDAR incluye para cada punto la intensidad devuelta del rayo láser emitido una vez reflejado en el terreno. Esta intensidad se ve directamente afectada por el material sobre el que incide, lo que genera distintos valores de respuesta. Esta respuesta de intensidad puede ser utilizada aplicándole una escala de color, normalmente gris, que genera una imagen en la que se identifican perfectamente los distintos elementos existentes sobre el terreno. Por tanto, es posible generar una imagen sintética de intensidad para cada pasada adyacente de la zona común.

Teniendo en cuenta este criterio se han hecho los recortes en las pasadas que abarcaran la zona de interés (como ya se hiciera en el control interno altimétrico) generando así una nube de puntos menor la cual se ha rasterizado, es decir, se ha obtenido una imagen de nivel de intensidad georreferenciada por cada pasada utilizando una escala de grises y un tamaño del píxel de 35 cm como características principales.

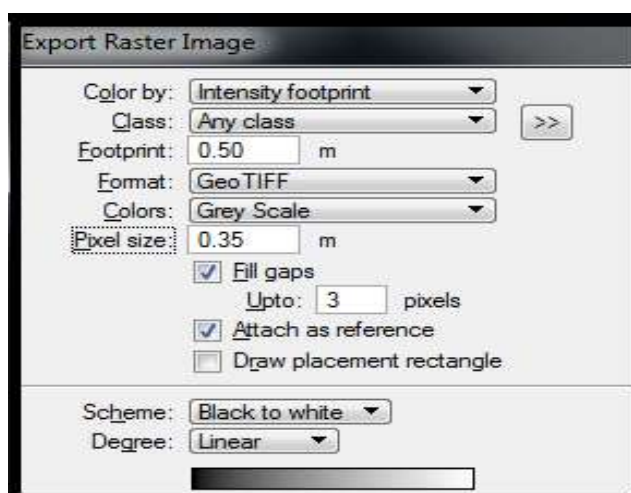


Figura 44. Características de la imagen rasterizada (Nivel de Intensidad)

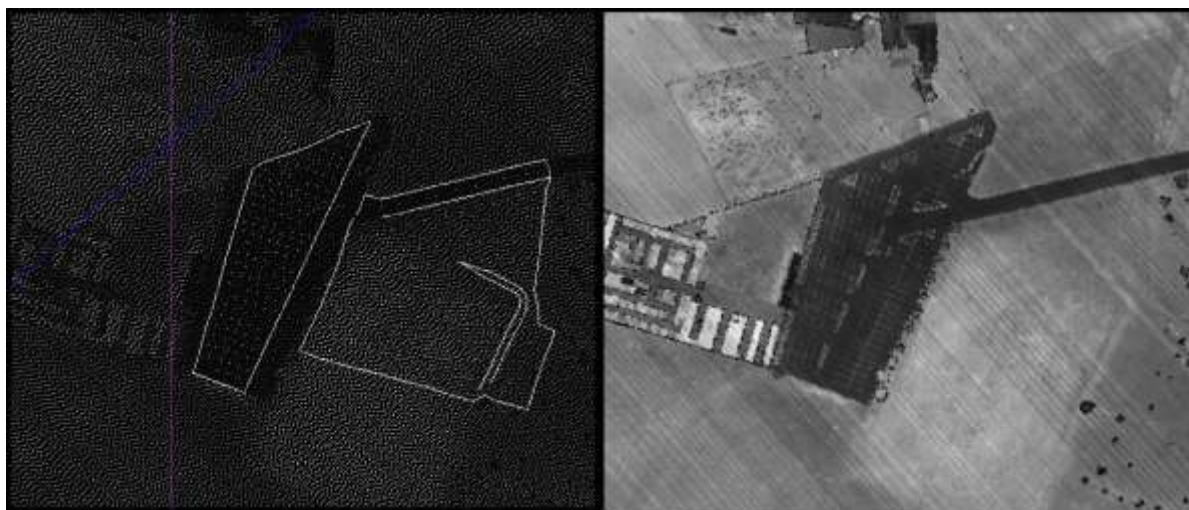


Figura 45. Comparación entre nube de puntos (izquierda) e imagen rasterizada (derecha)

#### 3.3.2.2.1 Digitalización.

Abrimos las imágenes con la aplicación Digi3D de una de las zonas y buscamos puntos homólogos bien definidos y en los que se pueda realizar un buen posado. En principio se han buscado superficies en las que se pudiera extraer coordenadas X, Y y Z (y así realizar un ajuste tridimensional más completo) como pueden ser aparcamientos, esquinas de carreteras, etc sin embargo, la mayor parte de las zonas pertenecen a campo por lo que en ese caso se han tenido que medir superficies como invernaderos o azoteas de naves de las cuales solo se han podido asegurar las coordenadas planimétricas.

Las imágenes utilizadas como ejemplo a continuación pertenecen a la zona 5 (Almería) la cual corresponde a una zona de campo en la que por la falta de superficies rectangulares en el terreno se

ha procedido a medir los invernaderos de los que como se observa se pueden identificar perfectamente las esquinas asegurando al menos un buen posado en X e Y que en este ajuste es lo principal.



Figura 46. Imagen rasterizada (puntos homólogos pasada 141)



Figura 47. Imagen rasterizada (puntos homólogos pasada 347)



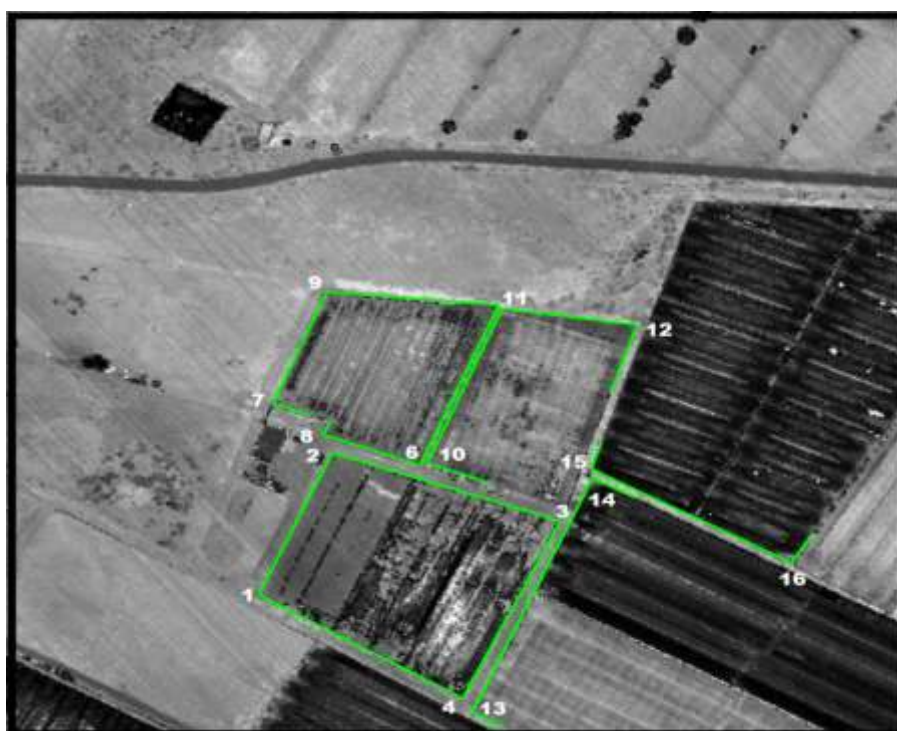


Figura 48. Imagen rasterizada (puntos homólogos pasada 918)

### 3.3.2.2.2 Obtención de pares de coordenadas.

Señalados los puntos homólogos en cada una de las imágenes se ha ido tomando nota de las coordenadas en un archivo Excel indicando una serie de características necesarias para que en caso de error se puedan identificar de nuevo los puntos elegidos de manera rápida y precisa (identificación de pasada, número de puntos, coordenadas y breve descripción).

Pasada	Nº	X	Y	Z	Pasada	Nº	X	Y	Z	Pasada	Nº	X	Y	Z
141	1	591629,750	4094976,500	165,480	347	1	591629,580	4094976,460	165,110	918	1	591629,680	4094976,170	165,330
	2	591653,790	4095031,810	162,920		2	591653,300	4095031,770	163,490		2	591654,470	4095031,490	163,710
	3	591727,410	4095004,350	159,910		3	591727,330	4095005,070	159,420		3	591727,430	4095004,780	159,560
	4	591696,510	4094936,060	159,180		4	591696,340	4094935,930	159,400		4	591696,440	4094936,120	159,290
	5	591650,750	4095039,500	163,830		5	591651,040	4095039,400	164,250		5	591650,660	4095038,640	162,460
	6	591682,420	4095026,530	162,000		6	591682,510	4095026,530	161,630		6	591682,610	4095026,720	162,690
	7	591634,730	4095050,940	164,650		7	591634,830	4095051,320	164,570		7	591635,400	4095051,510	165,480
	8	591707,970	4095089,090	160,480		8	591708,260	4095089,470	160,290		8	591707,880	4095089,180	161,860
	9	591652,660	4095094,432	163,470		9	591652,470	4095094,720	163,790		9	591653,040	4095094,430	164,250
	10	591684,680	4095027,620	160,670		10	591684,420	4095028,440	160,600		10	591684,510	4095027,200	160,580
	11	591708,720	4095087,890	160,500		11	591709,690	4095087,560	160,510		11	591708,830	4095087,750	160,360
	12	591752,590	4095080,640	159,430		12	591753,080	4095080,890	159,290		12	591752,700	4095080,600	159,650
	13	591699,960	4094930,780	160,730		13	591699,680	4094930,680	159,680		13	591699,770	4094930,870	158,890
	14	591738,380	4095021,740	159,710		14	591738,300	4095021,760	161,300		14	591738,870	4095021,470	159,130
	15	591738,000	4095025,170	158,250		15	591738,780	4095025,100	158,410		15	591738,400	4095025,290	158,140
	16	591802,850	4094988,550	155,650		16	591803,630	4094988,380	155,030		16	591803,720	4094988,100	154,620

Figura 49. Coordenadas de los puntos homólogos (imágenes anteriores)



Nº	Descripción del punto
1	1º invernadero esquina media izquierda
2	1º invernadero esquina superior
3	1º invernadero esquina media derecha
4	1º invernadero esquina inferior
5	2º invernadero esquina inferior media abajo
6	2º invernadero esquina inferior derecha
7	2º invernadero esquina inferior izquierda
8	2º invernadero esquina superior derecha
9	2º invernadero esquina superior izquierda
10	3º invernadero esquina inferior izquierda
11	3º invernadero esquina superior izquierda
12	3º invernadero esquina superior derecha
13	4º invernadero esquina inferior
14	4º invernadero esquina superior
15	5º invernadero esquina izquierda
16	5º invernadero esquina derecha

Figura 50. Descripción de puntos homólogos

\*En el CD adjunto a la memoria se incluye un Excel con los puntos de cada una de las zonas 30 zonas.

### 3.3.2.2.3 Diferencias gráficas.

Al igual que hicimos en el control interno altimétrico, para apreciar los errores a simple vista recurrimos a una representación gráfica de los mismos. Mientras se ha ido digitalizando el programa genera un archivo de dibujo en el cual se va viendo la forma simplemente de los datos que vamos tomando. Mediante una herramienta de la aplicación se han ido superponiendo dos a dos las distintas digitalizaciones de manera que a simple vista y de forma gráfica podemos ver que error planimétrico se está cometiendo.

El siguiente ejemplo corresponde a la zona 5 ya mencionada anteriormente la cual estamos utilizando para explicar el proceso interno planimétrico. La imagen muestra la comparación gráfica entre las digitalizaciones pertenecientes a las pasadas 141 y 347 y un ejemplo numérico del error que se está cometiendo analíticamente. Para ver claramente la diferencia gráfica existente se ha cogido uno de los puntos de mayor error, lo que no quiere decir que esa sea la tendencia en el resto de puntos.

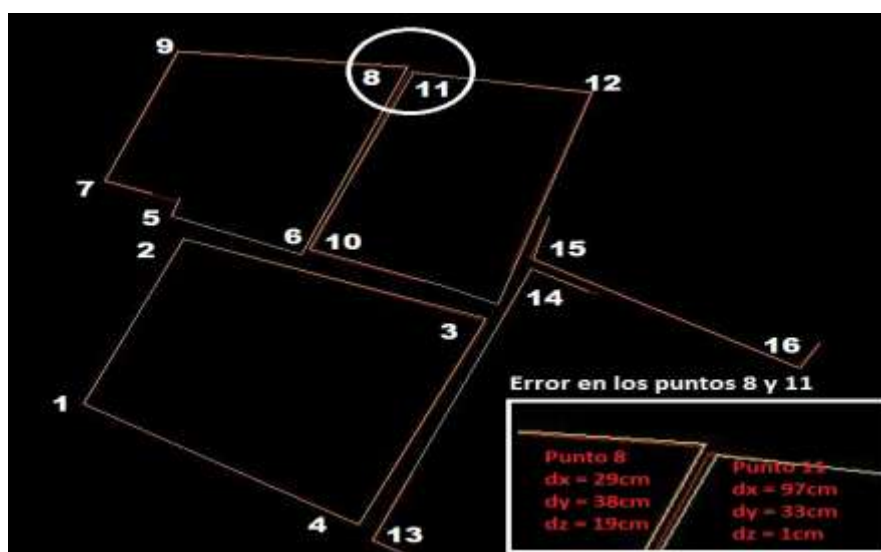


Figura 51. Diferencias gráficas





\*En el CD adjunto a la memoria se incluyen cada una de las diferencias gráficas obtenidas a partir de las comparaciones en las 30 zonas elegidas.

### 3.3.2.2.4 Transformación bidimensional.

Para poder hacernos una idea previa y detectar posibles tendencias, se han llevado a cabo mediante el programa Taller Fotogramétrico transformaciones afines bidimensionales y tridimensionales entre puntos homólogos, de manera que los parámetros de transformación obtenidos corresponderían con los errores que hay entre pasadas. Sin embargo, este proceso va a resultar más bien orientativo cuya finalidad va a ser la detección de posibles errores groseros.

En este apartado se realizó una transformación afín poniendo la coordenada altimétrica a 0 de manera que el ajuste es planimétrico.

En el siguiente ejemplo se muestran los resultados obtenidos al comparar las pasadas 141 y 347 mediante una transformación de semejanza en la que las Z eran igual a 0.

#### Parámetros Transf. 2D

Factor de escala : 1.00325834

Traslaciones : DX = 0.183, DY = 0.077, DZ = 0.000

Rotaciones : Omega = 0.0000 gon, Phi = 0.0000 gon, Kappa = 0.1436 gon

1	591629.6044	4094976.5613	0.0000	-0.0244	-0.1013	0.0000
2	591653.8478	4095031.9970	0.0000	0.0522	-0.2270	0.0000
3***	591727.6454	4095004.2809	0.0000	-0.3154	0.7891	0.0000
4	591696.4902	4094935.8385	0.0000	-0.1502	0.0915	0.0000
5	591650.8153	4095039.7189	0.0000	0.2247	-0.3189	0.0000
6	591682.5591	4095026.6350	0.0000	-0.0491	-0.1050	0.0000
7	591634.7690	4095051.2324	0.0000	0.0610	0.0876	0.0000
8	591708.3338	4095089.3408	0.0000	-0.0738	0.1292	0.0000
9	591652.8558	4095094.8254	0.0000	-0.3858	-0.1054	0.0000
10	591684.8289	4095027.7234	0.0000	-0.4089	0.7166	0.0000
11	591709.0836	4095088.1352	0.0000	0.6064	-0.5752	0.0000
12	591753.0800	4095080.7623	0.0000	0.0000	0.1277	0.0000
13	591699.9395	4094930.5335	0.0000	-0.2595	0.1465	0.0000
14	591738.6904	4095021.7027	0.0000	-0.3904	0.0573	0.0000
15	591738.3169	4095025.1448	0.0000	0.4631	-0.0448	0.0000
16	591803.2952	4094988.2588	0.0000	0.3348	0.1212	0.0000

Suma cuadrados residuos : 2.438465

Desviación Típica de Referencia: 0.2533 unidades del sistema de control.

Figura 52. Parámetros de la transformación 2D

A continuación se muestra una lista de los parámetros obtenidos en las 15 zonas de Almería y en las 15 zonas de Murcia



Modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
1	1,002	0,077	-0,045	0,000	0,000	0,000	0,020	0,226
2	0,999	0,218	0,007	0,000	0,000	0,000	-0,043	0,117
3	1,007	0,419	0,209	0,000	0,000	0,000	-0,088	0,240
4(1-2)	0,991	0,204	0,142	0,000	0,000	0,000	0,187	0,233
4(1-3)	0,999	0,249	0,195	0,000	0,000	0,000	0,332	0,244
4(2-3)	1,000	-0,134	0,120	0,000	0,000	0,000	-0,105	0,169
5(1-2)	1,003	0,183	0,077	0,000	0,000	0,000	0,144	0,253
5(1-3)	1,000	0,121	-0,037	0,000	0,000	0,000	0,044	0,272
5(2-3)	0,997	-0,051	-0,178	0,000	0,000	0,000	-0,124	0,336
6	1,000	-0,292	-0,335	0,000	0,000	0,000	0,077	0,282
7	0,999	0,331	0,219	0,000	0,000	0,000	-0,096	0,230
8	1,001	-0,187	-0,496	0,000	0,000	0,000	0,013	0,169
9	1,000	0,384	-0,162	0,000	0,000	0,000	0,014	0,223
10	0,999	0,209	-0,019	0,000	0,000	0,000	-0,141	0,209
11	0,998	-0,222	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,676	0,259
12	1,004	0,560	0,389	0,000	0,000	0,000	-0,090	0,280
13	1,002	-0,075	-0,063	0,000	0,000	0,000	0,106	0,239
14	0,998	0,539	-0,256	0,000	0,000	0,000	0,071	0,199
15	1,000	0,010	0,115	0,000	0,000	0,000	0,009	0,147

Figura 53. Parámetros Almería

modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
1	1,000	-0,311	-0,136	0,000	0,000	0,000	0,064	0,226
2	1,000	-0,280	-0,354	0,000	0,000	0,000	0,014	0,349
3	1,002	0,050	-0,087	0,000	0,000	0,000	-0,105	0,128
6	1,002	0,526	0,045	0,000	0,000	0,000	0,009	0,371
8	1,008	-0,025	-0,014	0,000	0,000	0,000	0,169	0,054
9	0,997	0,130	-0,111	0,000	0,000	0,000	0,405	0,117
10	1,000	0,014	0,047	0,000	0,000	0,000	0,010	0,054
11	1,000	0,001	-0,079	0,000	0,000	0,000	-0,028	0,074
12	1,005	0,172	-0,625	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,219
13	0,998	-0,220	-0,615	0,000	0,000	0,000	0,934	0,389
14	1,001	0,003	-0,362	0,000	0,000	0,000	-0,186	0,994
15	0,996	-0,050	-0,252	0,000	0,000	0,000	0,011	0,104
4-834-401	0,994	0,212	0,010	0,000	0,000	0,000	-0,802	0,097
4-834-444	0,992	0,171	-0,040	0,000	0,000	0,000	-0,463	0,054
5-444-048	0,996	0,178	-0,220	0,000	0,000	0,000	0,009	0,158
5-444-943	0,996	0,312	0,165	0,000	0,000	0,000	0,668	0,149
7-852-500	1,001	0,672	-0,111	0,000	0,000	0,000	-0,120	0,169
7-852-719	1,002	0,631	-0,528	0,000	0,000	0,000	-0,024	0,231

Figura 54. Parámetros Murcia

Si nos fijamos en los parámetros se observa que no hay sistematismo ya que unos valores son positivos y otros negativos. Sin embargo estos valores no son muy grandes. El valor promedio en las traslaciones es de 13 cm en la X y 6 mm en la Y en Almería y de 12 cm en la X y 18 cm en la Y en Murcia. El valor promedio de las desviaciones típicas es de 22 cm en Almería y de 21 cm en Murcia.



### 3.3.2.2.5 Transformación tridimensional.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado anterior, realizamos una transformación 3D únicamente en aquellas zonas que garantizan un posado en altimetría aceptable que no suponga gran diferencia entre las pasadas.

De manera que esta vez se han cogido las 3 coordenadas (X, Y, Z) de los puntos y al igual que en el apartado anterior se ha realizado una transformación, tridimensional en este caso, entre los puntos homólogos.

Debido a que la zona 5 no posee un buen posado altimétrico en este caso el ejemplo a mostrar corresponde con la zona 14 en la cual se realizó la transformación 3D de manera más fiable. La comparación corresponde a las pasadas 553 y 545.

#### Parámetros Transf. 3D

Factor de escala : 0.99806122

Traslaciones : DX = 0.539, DY = -0.256, DZ = -0.038

Rotaciones : Omega = 0.0278 gon, Phi = 0.1116 gon, Kappa = 0.0713 gon

1***	568232.1853	4074388.6560	62.7192	1.6947	-0.8960	0.1508
2***	568261.2458	4074386.2583	62.9009	0.2642	-0.3783	0.0791
3	568258.6164	4074374.0352	63.3407	0.0136	-0.1552	0.0293
4	568287.2767	4074343.4326	63.3062	0.2333	-0.1726	-0.0062
5	568298.0073	4074344.4186	63.1285	-0.3773	0.0914	0.0015
6	568293.8658	4074326.3382	62.8595	0.0142	0.0418	0.0105
7	568312.1572	4074395.1840	62.8330	0.4728	-0.4240	0.1070
8	568330.5061	4074399.2756	62.8792	-0.1261	0.2344	-0.0492
9***	568318.5112	4074383.4499	63.1117	0.1188	0.4301	-0.0317
10***	568275.9155	4074367.3388	63.2604	-0.5355	0.0412	0.0696
11	568280.4086	4074369.4598	63.5282	0.1014	0.1702	-0.0082
12***	568318.2601	4074366.6360	63.4889	-34.6301	-0.6260	0.0111
13***	568281.6478	4074361.5936	63.3352	-0.3878	-0.5836	0.0348
14	568280.9573	4074386.3562	63.1017	-0.0773	0.0238	0.0183
15	568291.4396	4074388.8397	63.1522	-0.3096	0.1703	-0.0022
16***	568289.4368	4074383.1031	63.3206	0.5732	-0.0931	0.0494
17	568284.5751	4074382.2403	63.3908	0.0549	0.0197	-0.1008

Suma cuadrados residuos : 0.935119

Desviación Típica de Referencia: 0.2016 unidades del sistema de control.

Figura 55. Parámetros de la transformación 3D

A continuación se muestra una lista de los parámetros obtenidos en las zonas con mejor apoyo 3D.



Modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
1	1,002	0,077	-0,045	0,123	-0,049	-0,174	-0,026	0,321
9	0,999	0,374	-0,223	-0,062	0,036	0,072	0,115	0,219
10	0,993	0,209	-0,019	-0,178	0,079	-0,023	-0,135	0,558
11	0,997	-0,222	-0,002	0,177	-0,138	-0,174	0,080	0,643
13	1,002	-0,075	-0,063	-0,165	-0,003	-0,145	0,106	0,437
14	0,998	0,539	-0,256	-0,038	0,028	0,112	0,071	0,202

Figura 56. Parámetros Almería

modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
10	1,000	0,014	0,047	0,100	0,339	0,225	-0,004	0,266
7(852-719)	1,002	0,631	-0,528	0,021	-0,037	0,033	-0,024	0,231
7(852-500)	1,001	0,672	-0,111	0,034	0,002	0,004	-0,120	0,169
15	0,996	-0,050	-0,252	0,006	0,007	0,002	0,011	0,105
4(834-401)	0,994	0,212	0,010	0,003	-0,131	-0,154	-0,806	0,097
4(834-444)	0,992	0,171	-0,004	-0,060	0,076	0,059	-0,460	0,054

Figura 57. Parámetros Murcia

Se observa la misma tendencia que con los parámetros de las transformaciones bidimensionales. No existe sistematismo alguno pero a pesar de ello se ve que las traslaciones a excepción de alguna no tienen grandes valores, los promedios en Almería serían de 53 cm en X, 25 cm en Y y 4 cm en Z y en Murcia de 27 cm en X, 14 cm en Y y 1cm en Z Lo mismo pasa con las desviaciones típicas siendo el promedio de estas de 40 cm en Almería y de 15 cm en Murcia.

### 3.3.2.2.6 Estadísticos.

Habiéndonos hecho una idea inicial con los parámetros hallados en las transformaciones se propone como metodología para estudiar el comportamiento del sensor LiDAR el estudio estadístico de los residuos resultantes de comparar puntos homólogos hallando las diferencias entre coordenadas X, Y y Z.

A continuación se adjunta una imagen en la cual se ven los residuos producidos de la comparación de las 3 pasadas que coinciden en la zona 5 de Almería y la cual se ha puesto de ejemplo en la explicación de la metodología en planimetría interna.



Zona	Nº	Error (141-347)			Error (141-918)			Error (347-918)		
		Dif_X	Dif_Y	Dif_Z	Dif_X	Dif_Y	Dif_Z	Dif_X	Dif_Y	Dif_Z
5	1	0,170	0,040	0,370	0,070	0,330	0,150	-0,100	0,290	-0,220
	2	-0,110	0,040	-0,570	-0,680	0,320	-0,790	-0,570	0,280	-0,220
	3	0,080	-0,720	0,490	-0,020	-0,430	0,350	-0,100	0,290	-0,140
	4	0,170	0,130	-0,220	0,070	-0,060	-0,110	-0,100	-0,190	0,110
	5	-0,290	0,100	-0,420	0,090	0,860	1,370	0,380	0,760	1,790
	6	-0,090	0,000	0,370	-0,190	-0,190	-0,690	-0,100	-0,190	-1,060
	7	-0,100	-0,380	0,080	-0,670	-0,570	-0,830	-0,570	-0,190	-0,910
	8	-0,290	-0,380	0,190	0,090	-0,090	-1,380	0,380	0,290	-1,570
	9	0,190	-0,288	-0,320	-0,380	0,002	-0,780	-0,570	0,290	-0,460
	10	0,260	-0,820	0,070	0,170	0,420	0,090	-0,090	1,240	0,020
	11	-0,970	0,330	-0,010	-0,110	0,140	0,140	0,860	-0,190	0,150
	12	-0,490	-0,250	0,140	-0,110	0,040	-0,220	0,380	0,290	-0,360
	13	0,280	0,100	1,050	0,190	-0,090	1,840	-0,090	-0,190	0,790
	14	0,080	-0,020	-1,530	-0,490	0,270	0,580	-0,570	0,290	2,170
	15	-0,780	0,070	-0,160	-0,400	-0,120	0,110	0,380	-0,190	0,270
	16	-0,780	0,170	0,620	-0,870	0,450	1,030	-0,090	0,280	0,410

Figura 58. Residuos

Hallados los residuos de las 15 zonas ya sea en Murcia y Almería se ha realizado el estudio estadístico por separado de las distintas diferencias en X, Y y Z de manera que se puedan comparar los promedios y dispersión en las 30 zonas según estas tres coordenadas.

### Almería.

Se ha introducido pues en statgraphics las diferencias en X, Y y Z de las 15 zonas de Almería. Se ha obtenido el promedio de cada una de las zonas en cada una de las tres coordenadas y se ha hallado la precisión de estos promedios con un intervalo de confianza del 95%. Además se han añadido otros datos de cada una de las zonas con los que mostrar una información más completa como son el recuento de puntos de cada zona, la media recortada 5% la desviación estándar y el error estándar, los mínimos y máximos y el rango.

### Estadísticos Coordenada X

	Zona 1 (X)	Zona 2 (X)	Zona 3 (X)	Zona 4 (X)	Zona 4 (X) 1
Recuento	16	13	15	15	15
Promedio	0,263	0,176	0,405	0,296	0,319
Media Recortada 5%	0,248	0,175	0,386	0,293	0,305
Desviación Estándar	0,241	0,129	0,296	0,130	0,243
Error Estándar	0,060	0,036	0,076	0,034	0,063
Mínimo	0,006	0,000	0,000	0,107	0,020
Máximo	0,780	0,380	1,160	0,540	0,870
Rango	0,774	0,380	1,160	0,433	0,850
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,118	0,070	0,150	0,066	0,123

Figura 59. Primer resumen estadístico





	Zona 4 (X) 2	Zona 5 (X)	Zona 5 (X) 1	Zona 5 (X) 3	Zona 6 (X)
Recuento	15	16	16	16	15
Promedio	0,227	0,321	0,288	0,333	0,365
Media Recortada 5%	0,216	0,298	0,270	0,317	0,359
Desviación Estándar	0,167	0,283	0,264	0,246	0,262
Error Estándar	0,043	0,071	0,066	0,061	0,068
Mínimo	0,020	0,080	0,020	0,090	0,040
Máximo	0,630	0,970	0,870	0,860	0,810
Rango	0,610	0,890	0,850	0,770	0,770
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,084	0,139	0,129	0,120	0,132

Figura 60. Segundo resumen estadístico

	Zona 7 (X)	Zona 8 (X)	Zona 9 (X)	Zona 10 (X)	Zona 11 (X)
Recuento	15	14	14	15	15
Promedio	0,337	0,292	0,410	0,326	0,329
Media Recortada 5%	0,332	0,290	0,414	0,307	0,316
Desviación Estándar	0,235	0,195	0,215	0,289	0,237
Error Estándar	0,061	0,052	0,058	0,075	0,061
Mínimo	0,010	0,010	0,000	0,000	0,050
Máximo	0,740	0,620	0,750	1,000	0,850
Rango	0,730	0,610	0,750	1,000	0,800
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,119	0,102	0,113	0,146	0,120

Figura 61. Tercer resumen estadístico

	Zona 12 (X)	Zona 13 (X)	Zona 14 (X)	Zona 15 (X)
Recuento	11	16	16	16
Promedio	0,567	0,313	0,661	0,141
Media Recortada 5%	0,562	0,298	0,601	0,128
Desviación Estándar	0,343	0,217	0,552	0,136
Error Estándar	0,103	0,054	0,138	0,034
Mínimo	0,000	0,070	0,030	0,000
Máximo	1,216	0,810	2,370	0,500
Rango	1,216	0,740	2,340	0,500
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,203	0,106	0,270	0,067

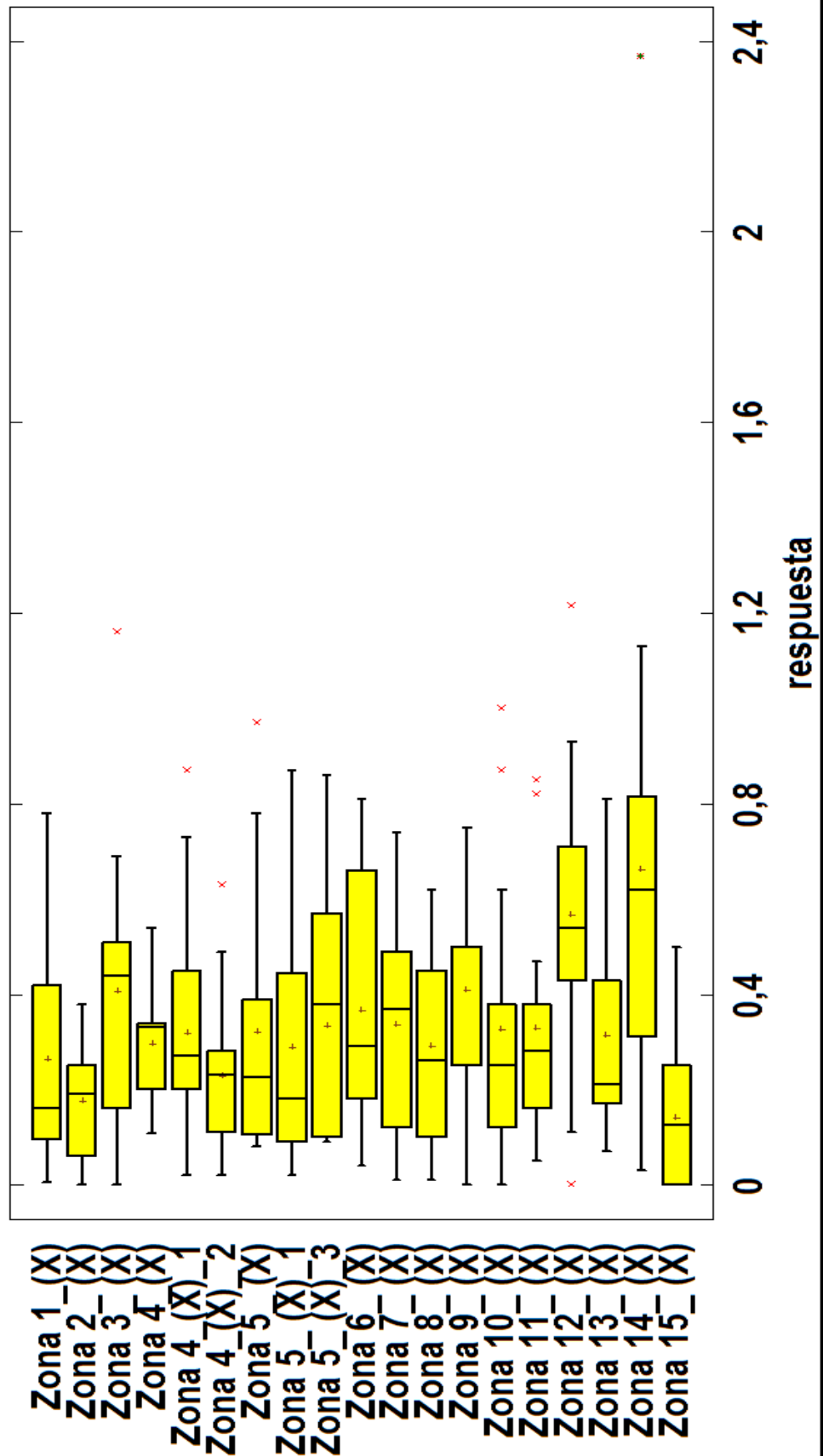
Figura 62. Cuarto resumen estadístico



Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1_(X)	0,118	0,263	0,263±0,118
Zona 2_(X)	0,070	0,176	0,176±0,070
Zona 3_(X)	0,150	0,405	0,405±0,150
Zona 4_(X)	0,066	0,296	0,269±0,066
Zona 4_(X)_1	0,123	0,319	0,319±0,123
Zona 4_(X)_2	0,084	0,227	0,227±0,084
Zona 5_(X)	0,139	0,321	0,321±0,139
Zona 5_(X)_1	0,129	0,288	0,288±0,129
Zona 5_(X)_3	0,120	0,333	0,333±0,120
Zona 6_(X)	0,132	0,365	0,365±0,132
Zona 7_(X)	0,119	0,337	0,337±0,119
Zona 8_(X)	0,102	0,292	0,292±0,102
Zona 9_(X)	0,113	0,410	0,410±0,113
Zona 10_(X)	0,146	0,326	0,326±0,146
Zona 11_(X)	0,120	0,329	0,329±0,120
Zona 12_(X)	0,203	0,567	0,567±0,203
Zona 13_(X)	0,106	0,313	0,313±0,106
Zona 14_(X)	0,270	0,661	0,661±0,270
Zona 15_(X)	0,067	0,141	0,141±0,067

Figura 63. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





### Estadísticos Coordenadas Y

	Zona 1 (Y)	Zona 2 (Y)	Zona 3 (Y)	Zona 4 (Y)	Zona 4 (Y) 1
Recuento	16	13	15	15	15
Promedio	0,212	0,136	0,299	0,271	0,277
Media Recortada 5%	0,208	0,134	0,294	0,260	0,256
Desviación Estándar	0,152	0,091	0,232	0,228	0,218
Error Estándar	0,038	0,025	0,060	0,059	0,056
Mínimo	0,010	0,010	0,019	0,000	0,030
Máximo	0,490	0,310	0,680	0,740	0,900
Rango	0,480	0,300	0,661	0,740	0,870
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,074	0,050	0,117	0,115	0,111

Figura 65. Primer resumen estadístico

	Zona 4 (Y) 2	Zona 5 (Y)	Zona 5 (Y) 2	Zona 5 (Y) 3	Zona 6 (Y)
Recuento	15	16	16	16	15
Promedio	0,183	0,240	0,274	0,340	0,345
Media Recortada 5%	0,176	0,221	0,256	0,298	0,307
Desviación Estándar	0,144	0,243	0,232	0,276	0,323
Error Estándar	0,037	0,061	0,058	0,069	0,083
Mínimo	0,010	0,000	0,002	0,190	0,050
Máximo	0,470	0,820	0,860	1,240	1,310
Rango	0,460	0,820	0,858	1,050	1,260
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,073	0,119	0,113	0,135	0,163

Figura 66. Segundo resumen estadístico

	Zona 7 (Y)	Zona 8 (Y)	Zona 9 (Y)	Zona 10 (Y)	Zona 11 (Y)
Recuento	15	14	14	15	15
Promedio	0,331	0,404	0,297	0,221	0,420
Media Recortada 5%	0,333	0,410	0,288	0,211	0,337
Desviación Estándar	0,228	0,245	0,234	0,192	0,540
Error Estándar	0,059	0,065	0,063	0,050	0,139
Mínimo	0,000	0,000	0,060	0,000	0,060
Máximo	0,630	0,700	0,690	0,630	2,280
Rango	0,630	0,700	0,630	0,630	2,220
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,115	0,128	0,123	0,097	0,273

Figura 67. Tercer resumen estadístico



	Zona 12_ (Y)	Zona 13_ (Y)	Zona 14_ (Y)	Zona 15_ (Y)
Recuento	11	16	16	16
Promedio	0,305	0,191	0,363	0,228
Media Recortada 5%	0,287	0,174	0,337	0,218
Desviación Estándar	0,327	0,164	0,308	0,165
Error Estándar	0,099	0,041	0,077	0,041
Mínimo	0,000	0,030	0,070	0,000
Máximo	0,940	0,660	1,120	0,620
Rango	0,940	0,630	1,050	0,620
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,194	0,080	0,151	0,081

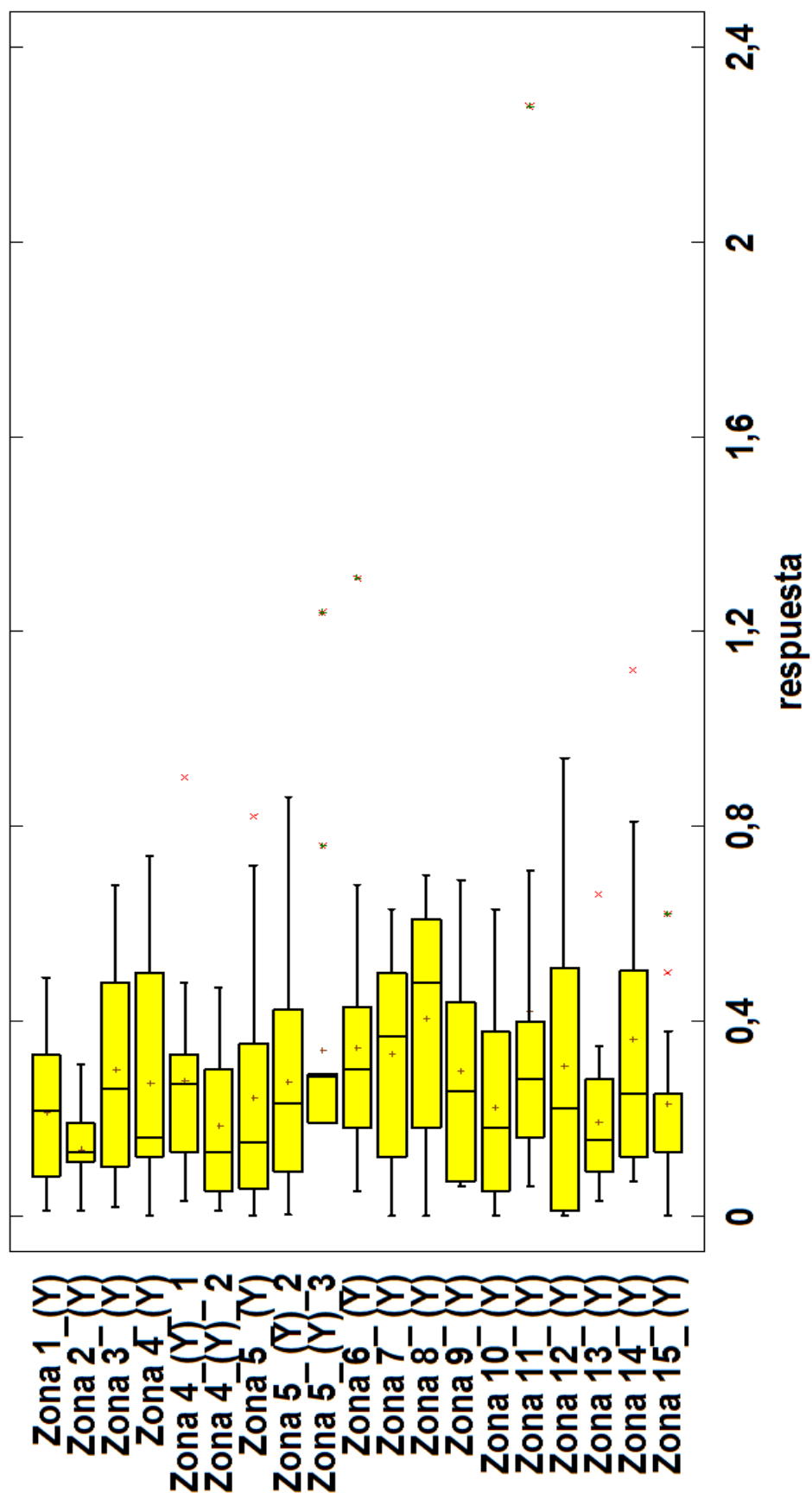
Figura 68. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1_ (Y)	0,074	0,212	0,212±0,074
Zona 2_ (Y)	0,050	0,136	0,136±0,050
Zona 3_ (Y)	0,117	0,299	0,299±0,117
Zona 4_ (Y)	0,115	0,271	0,271±0,115
Zona 4_ (Y)_ 1	0,111	0,277	0,277±0,111
Zona 4_ (Y)_ 2	0,073	0,183	0,183±0,073
Zona 5_ (Y)	0,119	0,240	0,240±0,119
Zona 5_ (Y)_ 2	0,113	0,274	0,274±0,113
Zona 5_ (Y)_ 3	0,135	0,340	0,340±0,135
Zona 6_ (Y)	0,163	0,345	0,345±0,163
Zona 7_ (Y)	0,115	0,331	0,331±0,115
Zona 8_ (Y)	0,128	0,404	0,404±0,128
Zona 9_ (Y)	0,123	0,297	0,297±0,123
Zona 10_ (Y)	0,097	0,221	0,221±0,097
Zona 11_ (Y)	0,273	0,420	0,420±0,273
Zona 12_ (Y)	0,194	0,305	0,305±0,194
Zona 13_ (Y)	0,080	0,191	0,191±0,080
Zona 14_ (Y)	0,151	0,363	0,363±0,151
Zona 15_ (Y)	0,081	0,228	0,228±0,081

Figura 69. Precisión de los promedios



Gráfico Caja y Bigotes





### Estadísticos Coordenadas Z

	Zona 1 (Z)	Zona 2 (Z)	Zona 3 (Z)	Zona 4 (Z)	Zona 4 (Z) 1
Recuento	16	13	15	15	15
Promedio	0,299	1,805	1,193	0,985	1,518
Media Recortada 5%	0,283	1,775	1,130	0,911	1,458
Desviación Estándar	0,284	1,590	1,310	0,927	1,116
Error Estándar	0,071	0,441	0,338	0,239	0,288
Mínimo	0,020	0,000	0,020	0,000	0,070
Máximo	0,870	4,140	3,500	3,290	4,050
Rango	0,850	4,140	3,480	3,290	3,980
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,139	0,864	0,663	0,469	0,565

Figura 71. Primer resumen estadístico

	Zona 4 (Z) 2	Zona 5 (Z)	Zona 5 (Z) 2	Zona 5 (Z) 3	Zona 6 (Z)
Recuento	15	16	16	16	15
Promedio	0,813	0,417	0,654	0,666	0,816
Media Recortada 5%	0,757	0,374	0,619	0,618	0,760
Desviación Estándar	0,689	0,408	0,540	0,663	0,835
Error Estándar	0,178	0,102	0,135	0,166	0,216
Mínimo	0,060	0,010	0,090	0,020	0,010
Máximo	2,580	1,590	1,840	2,170	2,630
Rango	2,520	1,580	1,750	2,150	2,620
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,349	0,200	0,264	0,325	0,423

Figura 72. Segundo resumen estadístico

	Zona 7 (Z)	Zona 8 (Z)	Zona 9 (Z)	Zona 10 (Z)	Zona 11 (Z)
Recuento	15	14	14	15	15
Promedio	1,172	0,548	0,206	0,797	0,645
Media Recortada 5%	1,137	0,533	0,179	0,718	0,607
Desviación Estándar	0,937	0,489	0,277	0,853	0,682
Error Estándar	0,242	0,131	0,074	0,220	0,176
Mínimo	0,000	0,020	0,000	0,030	0,040
Máximo	2,980	1,350	0,900	2,990	1,920
Rango	2,980	1,330	0,900	2,960	1,880
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,474	0,256	0,145	0,432	0,345

Figura 73. Tercer resumen estadístico



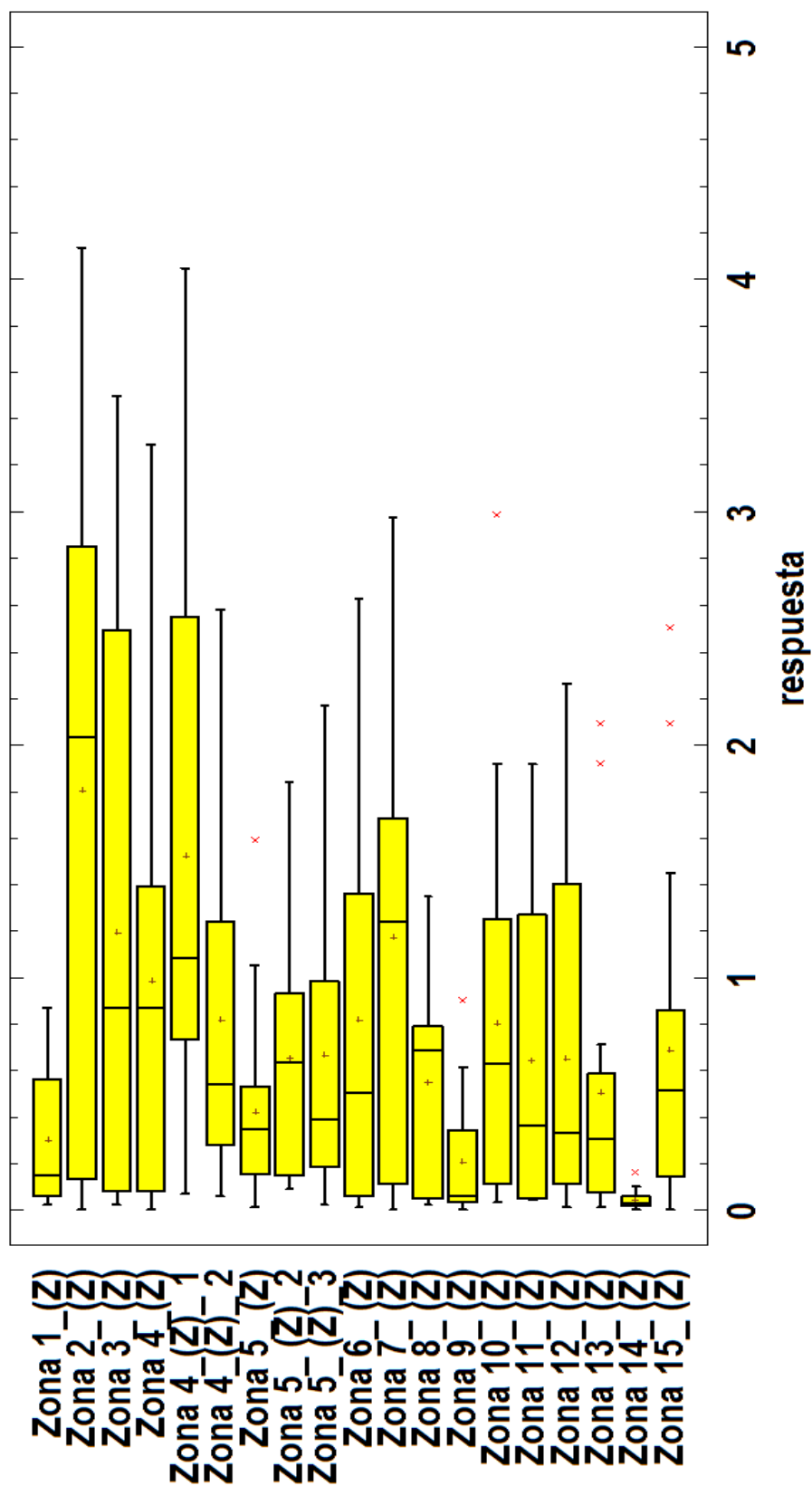
	Zona 12_ (Z)	Zona 13_ (Z)	Zona 14_ (Z)	Zona 15_ (Z)
Recuento	11	16	16	16
Promedio	0,648	0,501	0,042	0,686
Media Recortada 5%	0,594	0,440	0,038	0,623
Desviación Estándar	0,753	0,633	0,043	0,740
Error Estándar	0,227	0,158	0,011	0,185
Mínimo	0,010	0,010	0,000	0,000
Máximo	2,260	2,090	0,160	2,500
Rango	2,250	2,080	0,160	2,500
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,445	0,310	0,021	0,363

Figura 74. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1_ (Z)	0,139	0,299	0,299±0,139
Zona 2_ (Z)	0,864	1,805	1,805±0,864
Zona 3_ (Z)	0,663	1,193	1,193±0,663
Zona 4_ (Z)	0,469	0,985	0,985±0,469
Zona 4_ (Z)_ 1	0,565	1,518	1,518±0,565
Zona 4_ (Z)_ 2	0,349	0,813	0,813±0,349
Zona 5_ (Z)	0,200	0,417	0,417±0,200
Zona 5_ (Z)_ 2	0,264	0,654	0,654±0,264
Zona 5_ (Z)_ 3	0,325	0,666	0,666±0,325
Zona 6_ (Z)	0,423	0,816	0,816±0,423
Zona 7_ (Z)	0,474	1,172	1,172±0,474
Zona 8_ (Z)	0,256	0,548	0,548±0,256
Zona 9_ (Z)	0,145	0,206	0,206±0,145
Zona 10_ (Z)	0,432	0,797	0,432±0,797
Zona 11_ (Z)	0,345	0,645	0,645±0,345
Zona 12_ (Z)	0,445	0,648	0,648±0,445
Zona 13_ (Z)	0,310	0,501	0,501±0,310
Zona 14_ (Z)	0,021	0,042	0,042±0,021
Zona 15_ (Z)	0,363	0,686	0,686±0,363

Figura 75. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





## Murcia.

Se ha introducido nuevamente en statgraphics las diferencias en X, Y y Z esta vez de las 15 zonas de Murcia. Se ha obtenido el promedio de cada una de las zonas en cada una de las tres coordenadas y se ha hallado la precisión de estos promedios con un intervalo de confianza del 95%. Además se han añadido otros datos de cada una de las zonas con los que mostrar una información más completa como son el recuento de puntos de cada zona, la media recortada 5% la desviación estándar y el error estándar, los mínimos y máximos y el rango.

### Estadísticos Coordenada X

	Zona1 X	Zona2 X	Zona3 X	Zona4 X 1	Zona4 X 2
Recuento	8	21	14	12	12
Promedio	0,322	0,394	0,221	0,160	0,232
Media Recortada 5%	0,318	0,371	0,196	0,160	0,234
Desviación Estándar	0,301	0,382	0,254	0,105	0,148
Error Estándar	0,106	0,083	0,068	0,030	0,043
Mínimo	0,013	0,000	0,028	0,004	0,002
Máximo	0,696	1,220	0,863	0,317	0,418
Rango	0,683	1,220	0,835	0,313	0,416
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,209	0,163	0,133	0,059	0,084

Figura 77. Primer resumen estadístico

	Zona5 X 1	Zona5 X 2	Zona6 X	Zona7 X 1	Zona7 X 2
Recuento	9	9	13	12	12
Promedio	0,178	0,355	0,610	0,632	0,636
Media Recortada 5%	0,165	0,342	0,602	0,625	0,634
Desviación Estándar	0,201	0,187	0,483	0,324	0,272
Error Estándar	0,067	0,062	0,134	0,094	0,079
Mínimo	0,000	0,152	0,039	0,182	0,235
Máximo	0,587	0,785	1,328	1,197	1,077
Rango	0,587	0,633	1,289	1,015	0,842
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,131	0,122	0,263	0,183	0,154

Figura 78. Segundo resumen estadístico





	Zona8_X	Zona9_X	Zona10_X	Zona11_X	Zona12_X
Recuento	10	12	12	8	7
Promedio	0,070	0,138	0,327	0,074	0,217
Media Recortada 5%	0,067	0,121	0,296	0,074	0,211
Desviación Estándar	0,059	0,195	0,420	0,038	0,146
Error Estándar	0,019	0,056	0,121	0,013	0,055
Mínimo	0,003	0,010	0,006	0,038	0,039
Máximo	0,192	0,573	1,206	0,118	0,507
Rango	0,189	0,563	1,200	0,080	0,468
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,036	0,110	0,238	0,026	0,108

Figura 79. Tercer resumen estadístico

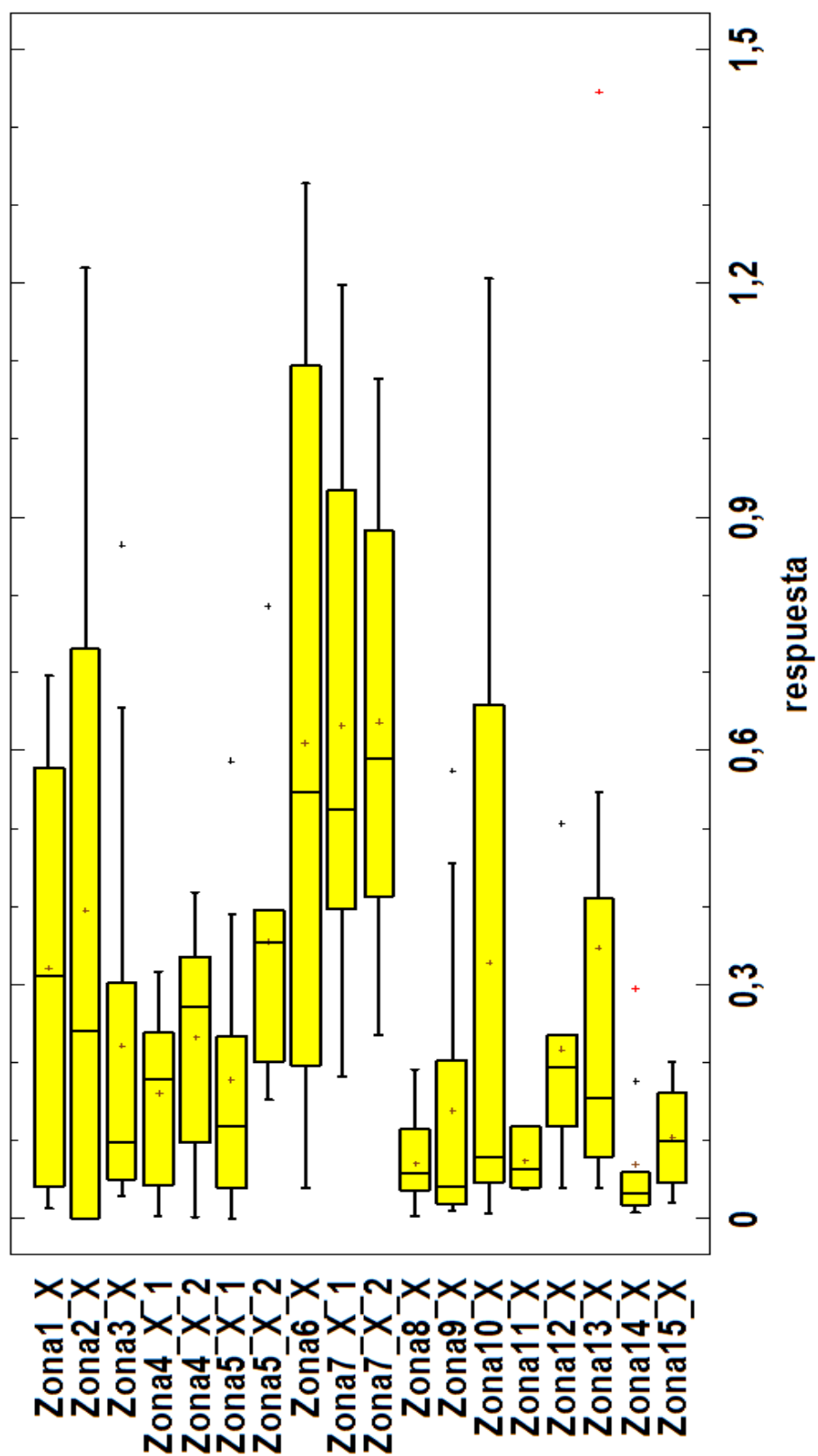
	Zona13_X	Zona14_X	Zona15_X
Recuento	8	10	8
Promedio	0,347	0,070	0,104
Media Recortada 5%	0,303	0,061	0,104
Desviación Estándar	0,474	0,093	0,068
Error Estándar	0,167	0,029	0,024
Mínimo	0,039	0,008	0,021
Máximo	1,445	0,294	0,201
Rango	1,406	0,286	0,180
T (95%)	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,328	0,057	0,047

Figura 80. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona1_X	0,209	0,322	0,321±0,209
Zona2_X	0,163	0,394	0,394±0,163
Zona3_X	0,133	0,221	0,221±0,133
Zona4_X_1	0,059	0,160	0,160±0,059
Zona4_X_2	0,084	0,232	0,232±0,084
Zona5_X_1	0,131	0,178	0,178±0,131
Zona5_X_2	0,122	0,355	0,355±0,122
Zona6_X	0,263	0,610	0,610±0,263
Zona7_X_1	0,183	0,632	0,631±0,183
Zona7_X_2	0,154	0,636	0,636±0,154
Zona8_X	0,036	0,070	0,070±0,036
Zona9_X	0,110	0,138	0,138±0,110
Zona10_X	0,238	0,327	0,327±0,238
Zona11_X	0,026	0,074	0,074±0,026
Zona12_X	0,108	0,217	0,217±0,108
Zona13_X	0,328	0,347	0,346±0,328
Zona14_X	0,057	0,070	0,070±0,057
Zona15_X	0,047	0,104	0,104±0,047

Figura 81. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





### Estadísticos Coordenada Y

	Zona1_Y	Zona2_Y	Zona3_Y	Zona4_Y_1	Zona4_Y_2
Recuento	8	21	14	12	12
Promedio	0,160	0,419	0,205	0,069	0,074
Media Recortada 5%	0,147	0,411	0,188	0,065	0,072
Desviación Estándar	0,167	0,337	0,219	0,051	0,061
Error Estándar	0,059	0,074	0,058	0,015	0,018
Mínimo	0,017	0,000	0,006	0,004	0,003
Máximo	0,537	0,980	0,705	0,200	0,198
Rango	0,520	0,980	0,699	0,196	0,195
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,115	0,144	0,115	0,029	0,035

Figura 83. Primer resumen estadístico

	Zona5_Y_1	Zona5_Y_2	Zona6_Y	Zona7_Y_1	Zona7_Y_2
Recuento	9	9	13	12	12
Promedio	0,126	0,204	0,190	0,528	0,137
Media Recortada 5%	0,123	0,192	0,176	0,518	0,130
Desviación Estándar	0,117	0,163	0,177	0,202	0,116
Error Estándar	0,039	0,054	0,049	0,058	0,034
Mínimo	0,000	0,040	0,039	0,266	0,006
Máximo	0,313	0,585	0,586	0,969	0,384
Rango	0,313	0,545	0,547	0,703	0,378
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,076	0,106	0,096	0,114	0,066

Figura 84. Segundo resumen estadístico

	Zona8_Y	Zona9_Y	Zona10_Y	Zona11_Y	Zona12_Y
Recuento	10	12	12	8	7
Promedio	0,103	0,147	0,101	0,113	0,625
Media Recortada 5%	0,088	0,139	0,096	0,114	0,625
Desviación Estándar	0,136	0,145	0,100	0,074	0,272
Error Estándar	0,043	0,042	0,029	0,026	0,103
Mínimo	0,002	0,002	0,002	0,001	0,273
Máximo	0,471	0,432	0,305	0,196	0,976
Rango	0,469	0,430	0,303	0,195	0,703
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,084	0,082	0,057	0,051	0,202

Figura 85. Tercer resumen estadístico



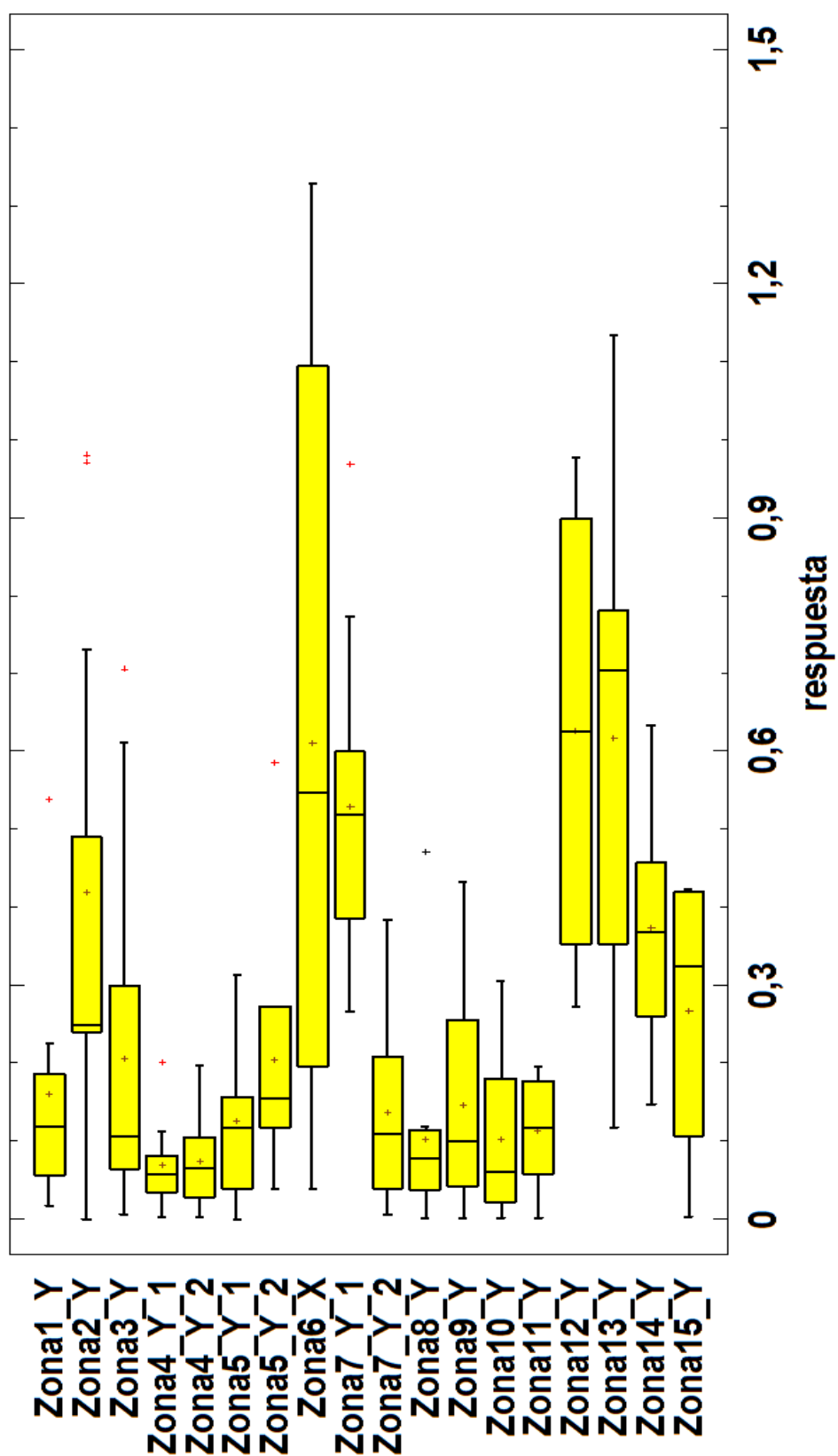
	Zona13_Y	Zona14_Y	Zona15_Y
Recuento	8	10	8
Promedio	0,615	0,373	0,266
Media Recortada 5%	0,614	0,372	0,272
Desviación Estándar	0,326	0,144	0,173
Error Estándar	0,115	0,045	0,061
Mínimo	0,117	0,147	0,004
Máximo	1,133	0,633	0,423
Rango	1,016	0,486	0,419
T (95%)	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,226	0,089	0,120

Figura 86. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona1_Y	0,115	0,160	0,160±0,115
Zona2_Y	0,144	0,419	0,419±0,144
Zona3_Y	0,115	0,205	0,205±0,115
Zona4_Y_1	0,029	0,069	0,069±0,029
Zona4_Y_2	0,035	0,074	0,074±0,035
Zona5_Y_1	0,076	0,126	0,126±0,076
Zona5_Y_2	0,106	0,204	0,203±0,106
Zona6_Y	0,096	0,190	0,190±0,096
Zona7_Y_1	0,114	0,528	0,528±0,114
Zona7_Y_2	0,066	0,137	0,137±0,066
Zona8_Y	0,084	0,103	0,103±0,084
Zona9_Y	0,082	0,147	0,146±0,082
Zona10_Y	0,057	0,101	0,101±0,057
Zona11_Y	0,051	0,113	0,113±0,051
Zona12_Y	0,202	0,625	0,625±0,202
Zona13_Y	0,226	0,615	0,615±0,226
Zona14_Y	0,089	0,373	0,373±0,089
Zona15_Y	0,120	0,266	0,266±0,120

Figura 87. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes







### Estadísticos Coordenada Z

	Zona1_Z	Zona2_Z	Zona3_Z	Zona4_Z_1	Zona4_Z_2
Recuento	8	21	14	12	12
Promedio	0,855	0,588	0,492	0,061	0,012
Media Recortada 5%	0,712	0,562	0,359	0,061	0,011
Desviación Estándar	1,471	0,525	0,996	0,011	0,009
Error Estándar	0,520	0,115	0,266	0,003	0,003
Mínimo	0,020	0,000	0,000	0,040	0,000
Máximo	4,260	1,640	3,380	0,080	0,030
Rango	4,240	1,640	3,380	0,040	0,030
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	1,019	0,225	0,522	0,006	0,005

Figura 89. Primer resumen estadístico

	Zona5_Z_1	Zona5_Z_2	Zona6_Z	Zona7_Z_1	Zona7_Z_2
Recuento	9	9	13	12	12
Promedio	0,413	0,784	0,435	0,023	0,035
Media Recortada 5%	0,383	0,754	0,429	0,022	0,036
Desviación Estándar	0,445	0,610	0,272	0,015	0,013
Error Estándar	0,148	0,203	0,076	0,004	0,004
Mínimo	0,010	0,110	0,000	0,000	0,010
Máximo	1,370	2,000	0,980	0,050	0,050
Rango	1,360	1,890	0,980	0,050	0,040
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,291	0,398	0,148	0,009	0,007

Figura 90. Segundo resumen estadístico

	Zona8_Z	Zona9_Z	Zona10_Z	Zona11_Z	Zona12_Z
Recuento	10	12	12	8	7
Promedio	0,449	0,201	0,176	0,415	1,183
Media Recortada 5%	0,373	0,139	0,127	0,296	1,165
Desviación Estándar	0,676	0,426	0,331	1,037	0,957
Error Estándar	0,214	0,123	0,096	0,367	0,362
Mínimo	0,010	0,000	0,020	0,000	0,200
Máximo	2,260	1,520	1,210	2,980	2,480
Rango	2,250	1,520	1,190	2,980	2,280
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,419	0,241	0,187	0,719	0,709

Figura 91. Tercer resumen estadístico



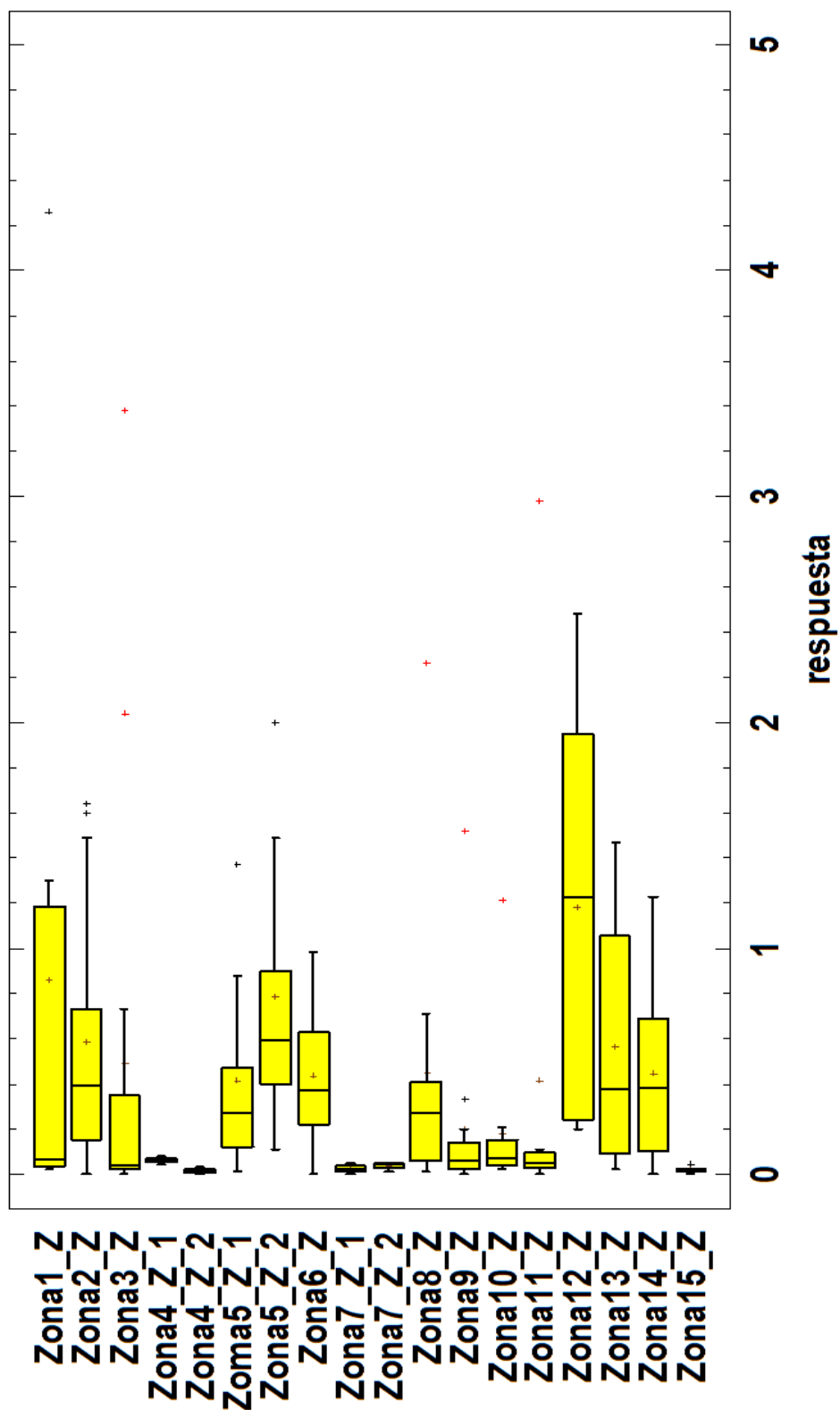
	Zona13_Z	Zona14_Z	Zona15_Z
Recuento	8	10	8
Promedio	0,566	0,443	0,016
Media Recortada 5%	0,546	0,424	0,016
Desviación Estándar	0,565	0,382	0,012
Error Estándar	0,200	0,121	0,004
Mínimo	0,020	0,000	0,000
Máximo	1,470	1,230	0,040
Rango	1,450	1,230	0,040
T (95%)	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,392	0,237	0,008

Figura 92. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona1_Z	1,019	0,855	0,855±1,019
Zona2_Z	0,225	0,588	0,588±0,225
Zona3_Z	0,522	0,492	0,492±0,522
Zona4_Z_1	0,006	0,061	0,061±0,006
Zona4_Z_2	0,005	0,012	0,012±0,005
Zona5_Z_1	0,291	0,413	0,413±0,291
Zona5_Z_2	0,398	0,784	0,784±0,398
Zona6_Z	0,148	0,435	0,435±0,148
Zona7_Z_1	0,009	0,023	0,022±0,009
Zona7_Z_2	0,007	0,035	0,035±0,007
Zona8_Z	0,419	0,449	0,449±0,419
Zona9_Z	0,241	0,201	0,201±0,241
Zona10_Z	0,187	0,176	0,176±0,187
Zona11_Z	0,719	0,415	0,415±0,719
Zona12_Z	0,709	1,183	1,183±0,709
Zona13_Z	0,392	0,566	0,566±0,392
Zona14_Z	0,237	0,443	0,443±0,237
Zona15_Z	0,008	0,016	0,016±0,008

Figura 93. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





Observando cada uno de los resúmenes estadísticos de Almería y Murcia, las precisiones y los gráficos se han sacado las siguientes observaciones.

A simple vista se puede observar que en Almería los promedios se encuentran en un rango de 60 cm en X, 40 cm en Y y 1 m en Z dispersiones que quedan reflejadas en los respectivos gráficos de caja y bigotes. Si nos fijamos en Murcia los promedios se encuentran en un rango de 60 cm en X, 60 cm en Y y 1m en Z. Es decir, los promedios de errores son más o menos de la misma magnitud tanto en Almería como en Murcia a priori teniendo en cuenta la muestra analizada.

Se puede concluir pues que hay cierta coherencia entre las muestras ya sean de una parte de la falla o de la otra.

Es importante ser consciente de que la Z es muy compleja de obtener mediante el método que se ha explicado en este punto (3.3.2 Control Interno Planimétrico), de hecho se observa perfectamente en la gran dispersión que se produce en los estadísticos (1m). Se impone pues como método para obtener un buen análisis de la coordenada Z la metodología del anterior punto (3.3.1 Control Interno Altimétrico). En caso de que aún así se quiera analizar esta coordenada desde el punto de vista planimétrico habrá que tener en cuenta que se deberán elegir zonas con puntos muy bien identificados para la realización de un buen posado (carreteras, parkings, figuras dibujadas claramente en el suelo en general). En este caso el resultado no ha sido el óptimo debido a que se ha dado prioridad a la buena identificación de los puntos de manera planimétrica asegurando X e Y.



### 3.3.3 Control Externo Altimétrico.

Una vez estudiada la coherencia interna de la nube de puntos LiDAR resulta necesario comprobar la correcta posición de la información con respecto al terreno real, o lo que es lo mismo, evaluar la exactitud en el posicionamiento absoluto del modelo generado. Para ello es necesario poseer ciertos elementos externos que sirvan de control o modelo de referencia.

#### 3.3.3.1 Datos LAS, GPS y MDT (PNOA).

Para poder realizar este control se han llevado a cabo una serie de trabajos de campo. Seleccionadas unas zonas óptimas para este tipo de ajuste previamente en el anteproyecto, se han tomado una serie de medidas con GPS a lo largo de las fallas, resultando finalmente 7 en Murcia y 5 en Almería. Los datos obtenidos en este proceso serán los que utilicemos como elemento externo con el que comparar la nube de puntos LiDAR. Además contaremos con otra fuente externa con la que comprobar la fiabilidad de estas comparaciones. Esta fuente externa será un modelo de elevación del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

En las siguiente imágenes se puede visualizar la distribución de las zonas con información GPS a lo largo de las fallas. Aunque no del todo claro debido al tamaño de la imagen podemos ver que algunas de estas zonas coinciden con enlaces transversales entre pasadas, lo que significa que algún caso tendremos redundancia de comparaciones entre los puntos GPS y las distintas pasadas del vuelo LiDAR que coinciden con la zona.

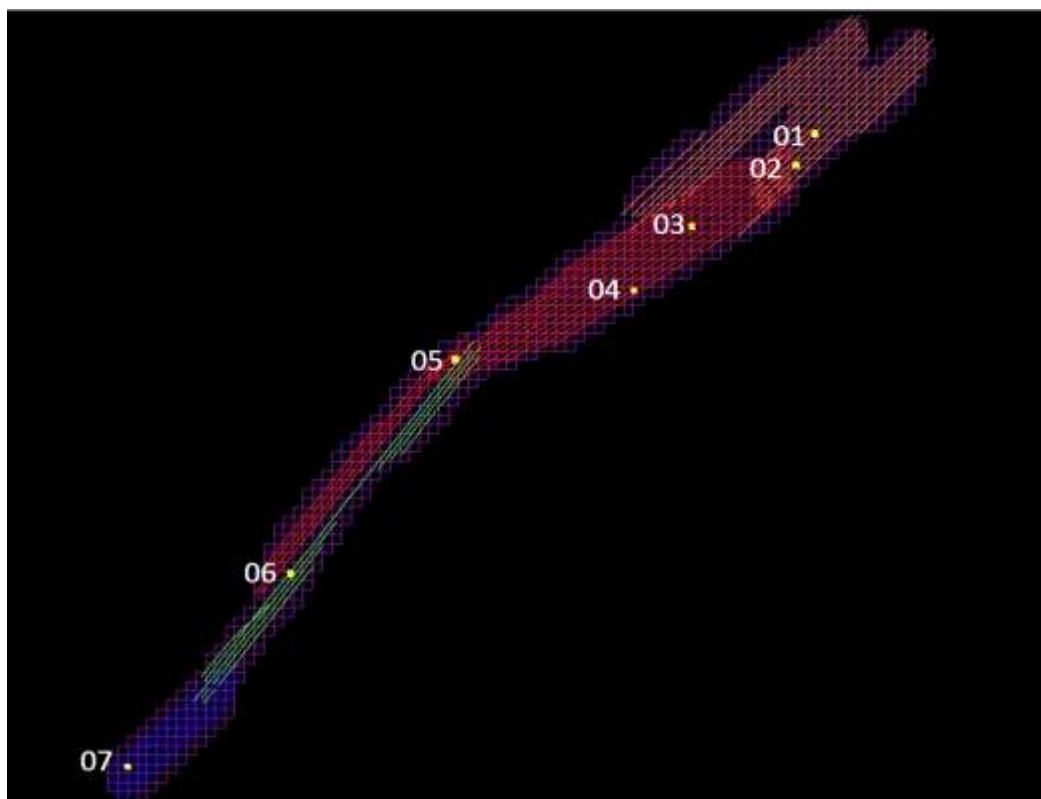


Figura 95. Distribución de zonas GPS (Murcia)



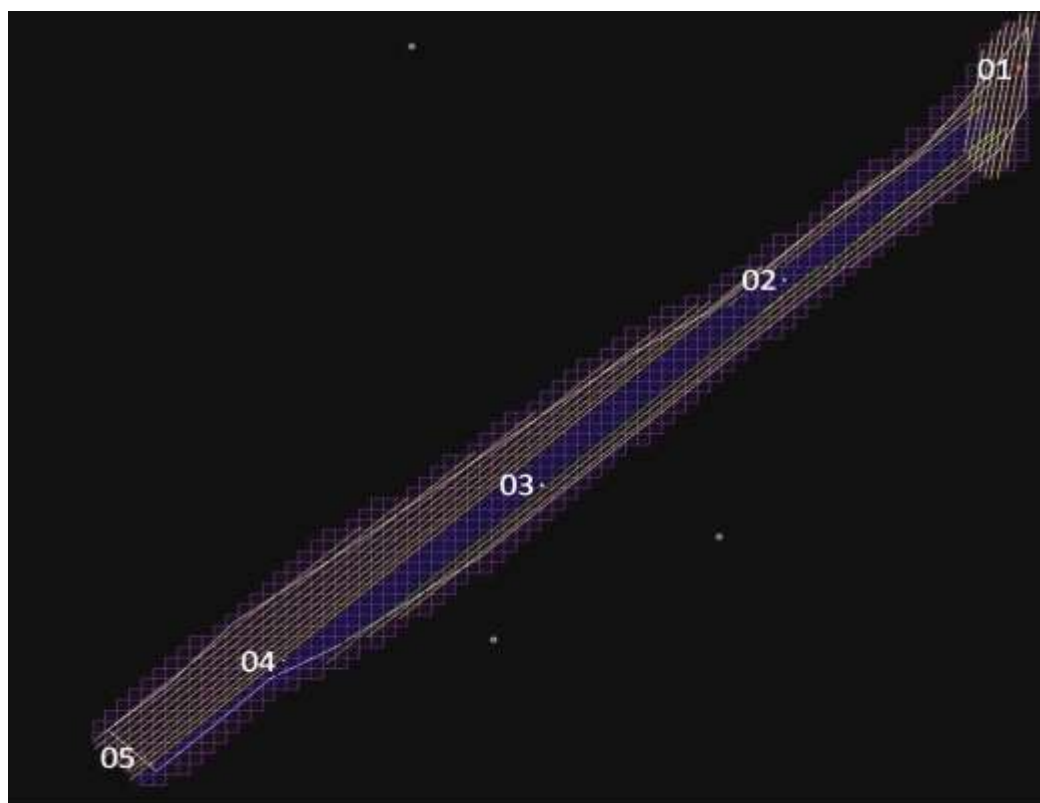


Figura 96. Distribución de zonas GPS (Almería)

En este caso, los puntos siguientes se explicarán poniendo como ejemplo la zona 03 de Almería a no ser que se especifique lo contrario.

### 3.3.3.2 Procesamiento datos LAS.

Como lo que queremos es comparar en principio la nube de puntos LiDAR con los puntos GPS superponemos estos últimos a la nube de puntos de manera que se pueda realizar el recorte de la zona de interés de formas más precisa. Por tanto, una vez posicionadas las zonas GPS y como ya hiciéramos en anteriores procesos se realizan los recortes correspondientes a las distintas zonas en las pasadas en las que se encuentren.

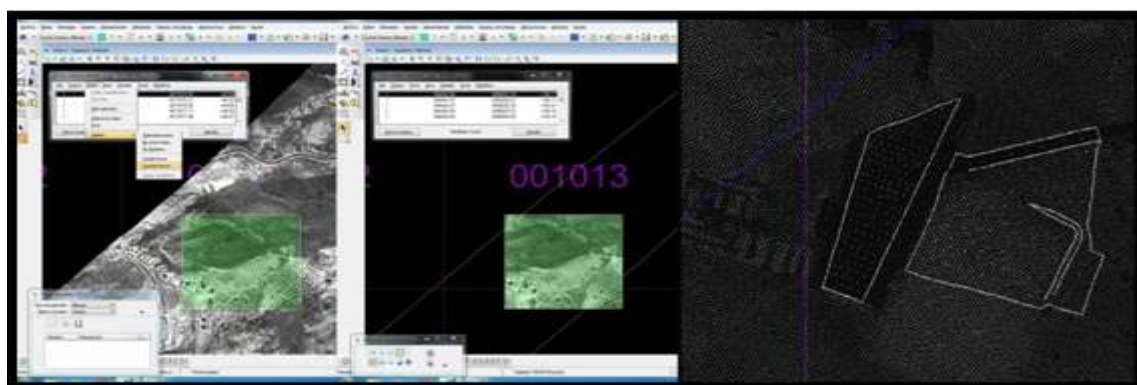


Figura 97. Recorte de la zona 03 sobre una de las pasadas

### 3.3.3.2.1 Clasificación y eliminación de ruido.

Una vez obtenidas las nubes de puntos, se procede a la clasificación de estas utilizando, una vez más el programa MDTop de la misma forma que se hizo con el control interno altimétrico, ya sea de manera automática o trazando perfiles manualmente.

De nuevo se ha hecho distinción entre la nube de puntos con elementos del tipo “suelo”, es decir, sin ningún tipo de elemento superficial y la nube de puntos del tipo superficial o lo que es lo mismo la nube tal y como es.



Figura 98. Nube de puntos “Suelo”

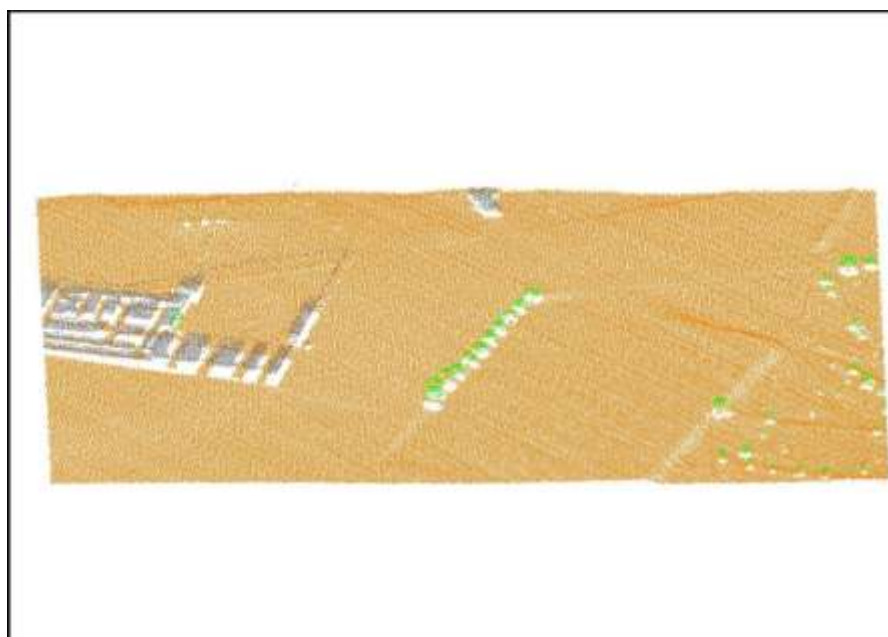


Figura 99. Nube de puntos “Superficie”



Ver	Código	Rojo	Verde	Azul	Nemotécnico
<input checked="" type="checkbox"/>	2	255	128	0	Suelo
<input checked="" type="checkbox"/>	3	128	255	128	Vegetación baja
<input checked="" type="checkbox"/>	4	0	255	0	Vegetación media
<input checked="" type="checkbox"/>	5	0	128	0	Vegetación alta
<input checked="" type="checkbox"/>	6	128	128	128	Edificación

Figura 100. Clasificación de la nube de puntos. Gama de colores

#### 3.3.3.2.2 Obtención de Modelos Digitales (MDT/MDS).

En este caso, a diferencia de lo que se hiciera en el control interno altimétrico, los puntos de GPS son los que se van a proyectar o superponer sobre la nube de puntos clasificada por lo que nos interesa hallar los MDT y MDS de estos últimos. Por tanto, una vez clasificados, a partir de la nube de puntos “suelo” se ha obtenido un MDT y a partir de la nube de puntos tal y como es se ha obtenido MDS.

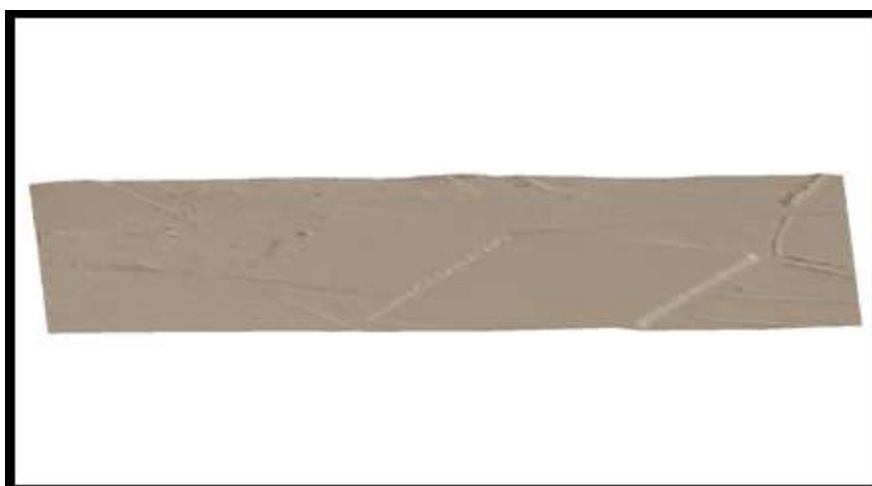


Figura 101. MDT

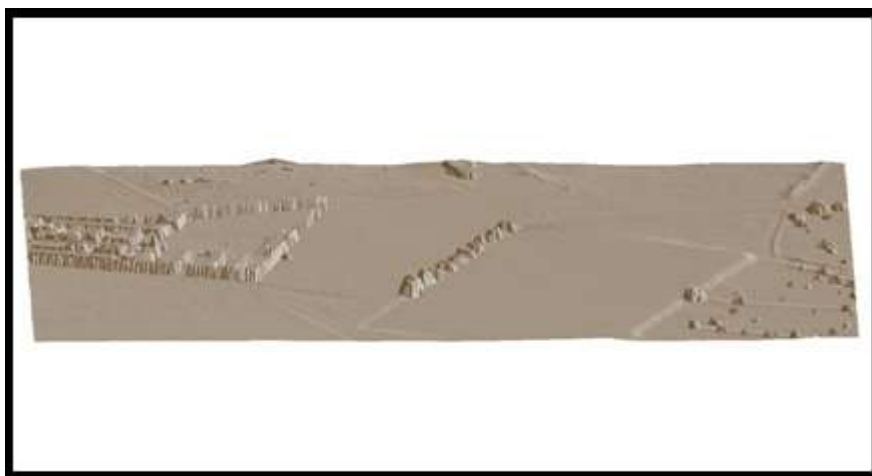


Figura 102. MDS



### 3.3.3.3 LAS vs GPS.

Contamos pues con dos tipos de datos de una misma zona, por un lado los puntos GPS obtenidos en campo y por otro lado la zona correspondiente a estos mismos en la nube de puntos LiDAR. Para poder hallar la exactitud de dicha nube se proyectan o superponen los puntos GPS sobre los modelos digitales obtenidos en el punto anterior. Con el fin de realizar un análisis más completo de dicha exactitud se han superpuesto los puntos GPS sobre MDT y sobre MDS de la zona, de tal manera que por un lado podamos comprobar cómo se comporta el LiDAR sobre el terreno y por otro lado cómo se comporta si además a este terreno se le añaden elementos de superficie como edificios, vegetación, etc...

Se ha de tener en cuenta que los puntos GPS, así como se hizo con los LAS, se han clasificados como suelo y superficie para que a la hora de obtener los estadísticos podamos evitar los errores groseros. Por ello, al superponer los puntos GPS sobre MDT, se han eliminado los puntos correspondientes a edificios los cuales producían errores haciendo que se distorsionaran los resultados. De la misma manera, al superponer los puntos GPS sobre MDS estos no han sido retocados.

Otro dato importante a realizar previo al proceso de comparación es comprobar si los datos que vamos a tratar se encuentran en el mismo sistema de referencia. En el caso de este proyecto los datos GPS que se nos dieron en post-proceso se encontraban en un sistema de referencia local, es decir, las cotas de los puntos eran ortométricas, mientras que la nube de puntos LiDAR se encontraba en el sistema de referencia global WGS84, es decir, con las cotas de los puntos referidas al elipsoide. Para poder continuar pues con el proceso se han corregido de la ondulación del geoide los modelos digitales generados a partir de la nube de puntos LiDAR.

#### 3.3.3.3.1 Comparativa de la nube de puntos LiDAR con datos GPS.

Superponemos como ya se dijo anteriormente los puntos GPS sobre los modelos digitales hallados a partir de la nube de puntos LiDAR de manera que sobre el MDT se proyecten los puntos GPS pertenecientes a elementos del terreno y sobre el MDS se proyecten los puntos GPS sin hacer cambio alguno con los elementos superficiales tomados en campo.

Informe03_MDT.TXT: Bloc de notas		Informe03_MDS.TXT: Bloc de notas	
Resumen :		Resumen :	
Media de las diferencias	= 0.31 m	Media de las diferencias	= 0.30 m
Desviación típica	= 0.03 m	Desviación típica	= 0.26 m
Valor máximo	= 0.43 m	Valor máximo	= 2.47 m
Puntos comparados	= 390	Puntos comparados	= 400
Puntos erróneos	= 389	Puntos erróneos	= 399
Puntos fuera	= 0	Puntos fuera	= 0

Figura 103. Resúmenes de superposición sobre MDT (izquierda) y MDS (derecha)



La imagen anterior nos muestra el resumen final del informe de errores generado por el programa MDTop al proyectar los puntos GPS. Se puede observar como existe gran diferencia entre la precisión hallada al proyectar sobre MDT y la halla al proyectar sobre MDS, así como también la diferencia entre el valor máximo de los puntos disminuyendo la precisión según aumenta este por lo general.

Conocida esta diferencia entre MDT y MDS, se ha decidido analizar el comportamiento del LiDAR sobre el terreno, de forma que los estadísticos han sido hallados a partir de los datos obtenidos de los MDT.

\*En el CD adjunto a la memoria se incluyen los 60 informes (30 MDT/30 MDS) pertenecientes a cada una de las zonas así como los archivos obtenidos en el proceso.

#### 3.3.3.3.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.

De nuevo se han hallado mapas de tintas hipsométricas con los que poder visualizar de una manera gráfica la distribución de errores y así poder observar con mayor facilidad dónde se están produciendo los de mayor y menor valor y debido a que pueden ser.

Hallada la proyección la aplicación nos genera una nube de puntos correspondiente a los errores cometidos en altimetría. Se ha obtenido el modelo digital de dicha nube y se le ha aplicado una escala de valores en la cual se ha asignado a cada rango un color.

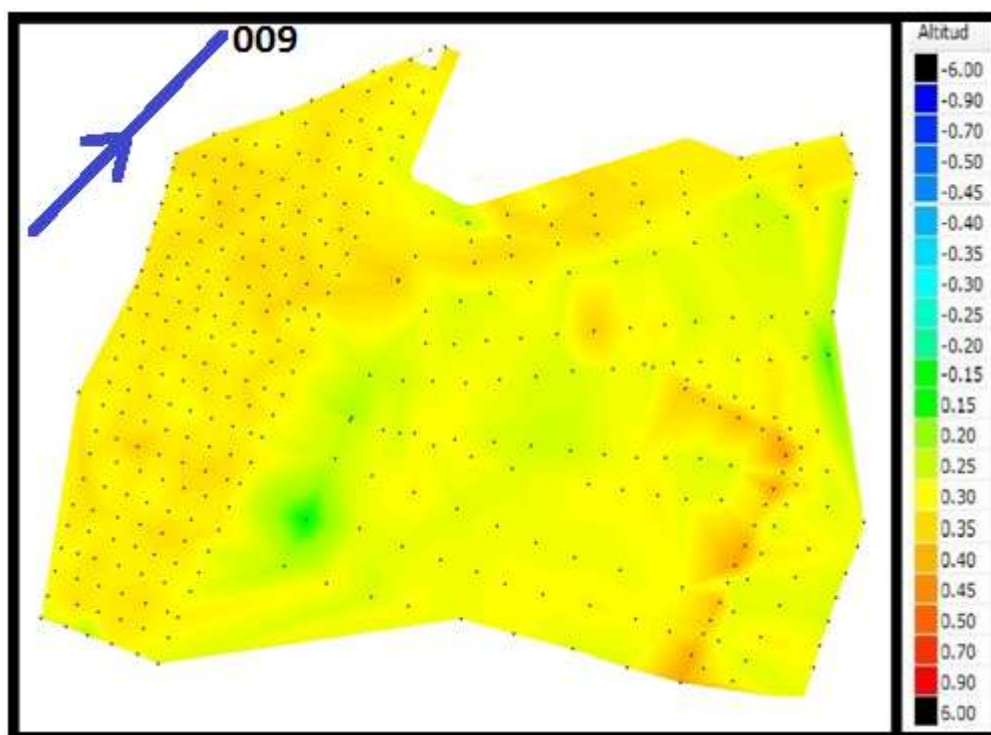


Figura 104. Mapa de tintas hipsométricas MDT



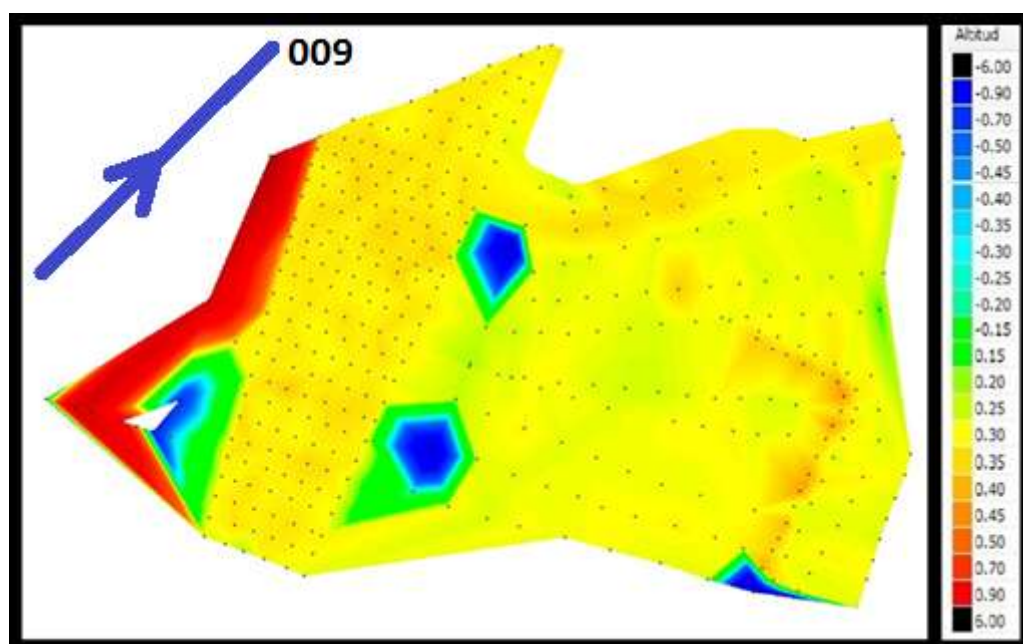


Figura 105. Mapa de tintas hipsométricas MDS

A continuación adjuntamos una imagen a color de la zona correspondiente al ejemplo que se ha utilizado en la explicación de la metodología para el control externo altimétrico así como también el MDS con los que poder sacar alguna conclusión de dónde se están cometiendo los mayores errores.

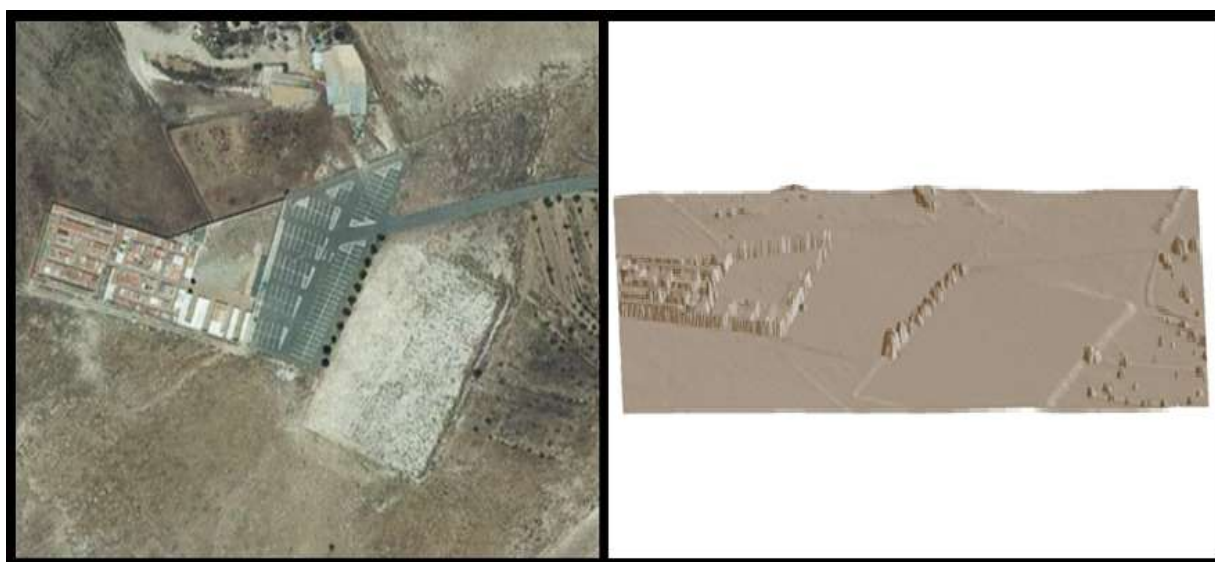


Figura 106. Orto izquierda, MDS derecha



Si comparamos la figura 106 con los mapas de tintas hipsométricas vemos que se produce un error de entre 40 y 45 cm en el talud que se encuentra a la derecha de la imagen (figura 104). Este error nos dice que al proyectar los puntos GPS sobre el MDT de la nube LiDAR esta última se está quedando por debajo del terreno real, lo que nos lleva a la conclusión que ya se sacó en el control interno altimétrico y es que dependiendo de la orientación del vuelo con respecto a la orografía el sensor tiende a cometer errores positivos o negativos a un lado y a otro de los elementos. Si nos fijamos en la posición de la pasada respecto a la zona, el talud donde se está produciendo el error es paralelo a esta, sin embargo la dirección en la que desciende el talud, desde la “explanada superior” hacia la derecha, queda de alguna manera escondido al producirse el barrido de izquierda a derecha por lo que el sensor comete errores al barrer este tipo de zonas y esos errores tienden a ser positivo si los que se superponen en la comparación son los puntos GPS, es decir, la nube de puntos LiDAR se está quedando por debajo del terreno real.

De nuevo, aunque con menos intensidad, se observa un error de entre 35 y 40 cm en la carretera situada arriba hacia la derecha. Se está cometiendo el mismo error ya que el talud tiene casi la misma dirección y precisamente porque no es tan paralelo a la pasada 009 el sensor ha hecho el barrido ligeramente mejor. Aún así se observa una tendencia general de un error de unos 35-40 cm con respecto a la realidad en los puntos barridos sobre el asfalto.

En la tinta hipsométrica correspondiente a la comparación con el MDS (figura 105) observamos dos puntos azules en la zona central que nos dicen que se está cometiendo un error negativo de entre 70 y 90 cm. Estos errores hacen referencia a puntos GPS dados sobre el terreno los cuales han sido proyectados por el sensor LiDAR sobre árboles. En la comparación con el MDT (figura 104) podemos ver en esa zona un error de unos 15 cm y es que como ya se dijo en la explicación de la metodología en ese caso fueron eliminados los elementos superficiales como los árboles por lo que el error es mínimo.



### 3.3.3.3 Estadísticos.

De la misma manera que se hizo con el control interno altimétrico se ha realizado un estudio estadístico mediante statgraphics de cada uno de los informes pertenecientes a cada una de las comparaciones entre puntos GPS y nube de puntos LiDAR en este caso de las 12 zonas indicadas en las figuras 95 y 96 de la cuales 7 pertenecen a Murcia y las 5 restantes a Almería.

La metodología es la misma, se ha cogido la columna “dif” de los .txt generados por el programa MDTOP y se han introducido en statgraphics, aplicación mediante la cual se han hallado los promedios de estos errores altimétricos y se ha obtenido un gráfico de caja y bigotes.

#### Almería.

En el cuadro resumen que a continuación se adjunta a parte del estudio estadístico de las 5 zonas ya comentadas se han añadido dos zonas más (zona 13 347-545 y zona 13 206-553) una situada entre las zonas 1 y 3 y la otra situada cerca de la zona 10.

	Zona 1	Zona 3	Zona 5	Zona 8	Zona 10 (347)
Recuento	136	352	442	390	123
Promedio	0,072	0,158	0,127	0,314	0,280
Media Recortada 5%	0,066	0,100	0,124	0,314	0,281
Desviación Estándar	0,063	0,417	0,056	0,032	0,065
Error Estándar	0,005	0,022	0,003	0,002	0,006
Mínimo	0,000	0,000	0,010	0,140	0,050
Máximo	0,330	4,730	0,660	0,430	0,610
Rango	0,330	4,730	0,650	0,290	0,560
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,011	0,044	0,005	0,003	0,011

Figura 107. Primer resumen estadístico

	Zona 10 (545)	Zona 13 (206)	Zona 13 (553)	Zona 13 (347)	Zona 13 (545)
Recuento	123	250	250	382	382
Promedio	0,191	0,152	0,161	0,102	0,082
Media Recortada 5%	0,185	0,153	0,161	0,102	0,081
Desviación Estándar	0,080	0,039	0,041	0,041	0,038
Error Estándar	0,007	0,002	0,003	0,002	0,002
Mínimo	0,010	0,040	0,060	0,000	0,000
Máximo	0,650	0,240	0,270	0,250	0,240
Rango	0,640	0,200	0,210	0,250	0,240
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,014	0,005	0,005	0,004	0,004

Figura 108. Segundo resumen estadístico



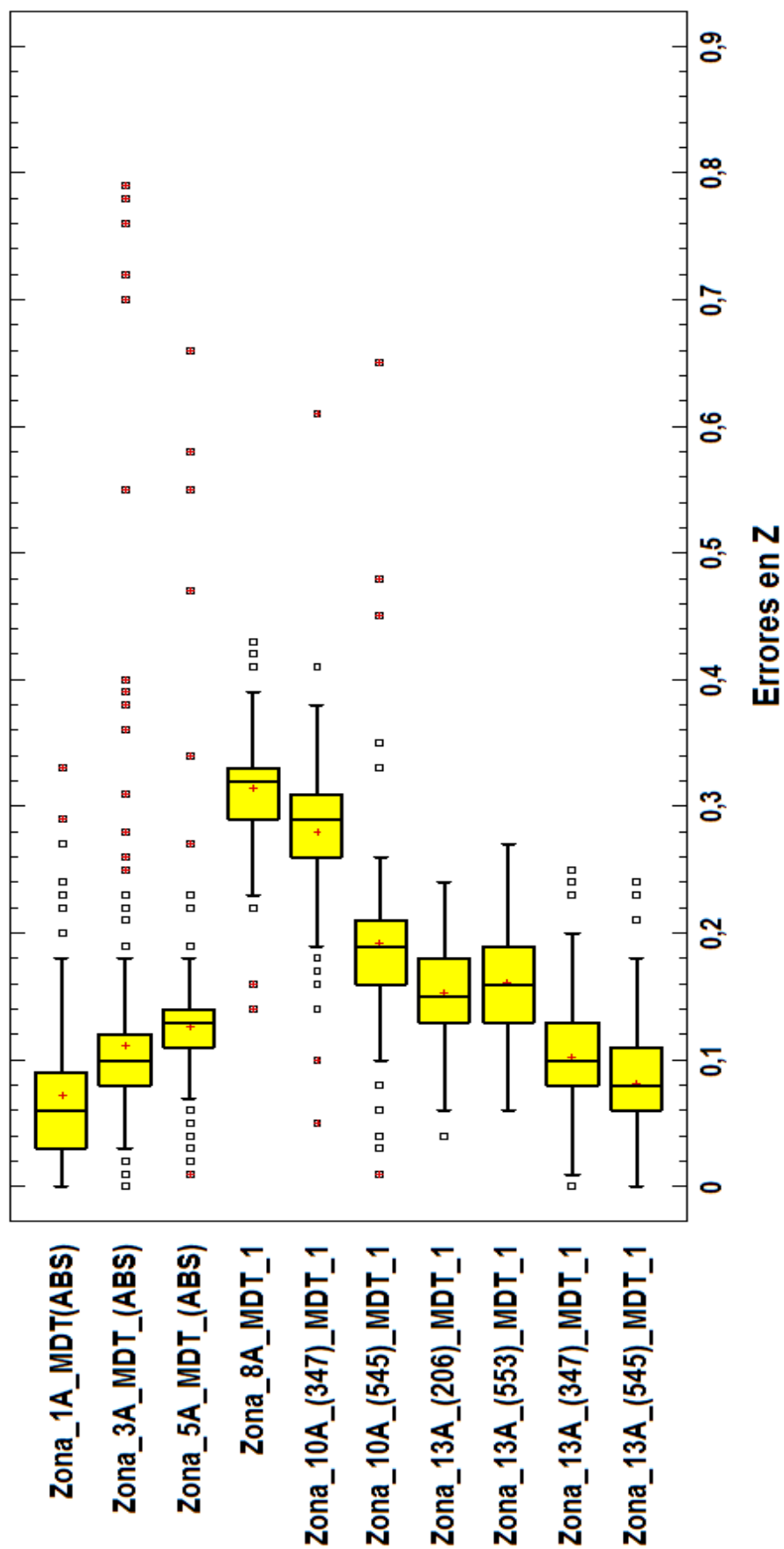
Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1	0,011	0,072	0,072±0,011
Zona 3	0,044	0,158	0,158±0,044
Zona 5	0,005	0,127	0,127±0,005
Zona 8	0,003	0,314	0,314±0,003
Zona 10 (347)	0,011	0,280	0,280±0,011
Zona 10 (545)	0,014	0,191	0,191±0,014
Zona 13 (206)	0,005	0,152	0,152±0,005
Zona 13 (553)	0,005	0,161	0,161±0,005
Zona 13 (347)	0,004	0,102	0,102±0,004
Zona 13 (545)	0,004	0,082	0,082±0,004

Figura 109. Precisión de los promedios

Si observamos este último cuadro vemos que el menor valor del error cometido al proyectar los puntos GPS sobre los LAS sería de unos 7 cm, mientras que el máximo estaría rondando aproximadamente los 31 cm. Estaríamos hablando pues de un rango de error de unos 24 cm.

A continuación adjuntamos el gráfico de caja y bigotes en el que se puede comprobar cómo las cajas que representan la dispersión de cada zona están centradas en dicho rango. También se observa una cierta cantidad de puntos atípicos sin embargo no son significativos con respecto al tamaño de la muestra.

Gráfico Caja y Bigotes





## Murcia.

Se introducen entonces los datos de las 7 zonas de Murcia en statgraphics de las que se han obtenido los siguientes resultados.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Recuento	99	205	244	425
Promedio	0,018	0,148	0,228	0,115
Media Recortada 5%	0,017	0,108	0,188	0,084
Desviación Estándar	0,013	0,227	0,277	0,216
Error Estándar	0,001	0,016	0,018	0,010
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,000
Máximo	0,060	1,730	1,540	2,990
Rango	0,060	1,730	1,540	2,990
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,003	0,031	0,035	0,021

Figura 111. Primer resumen estadístico

	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Recuento	310	239	289
Promedio	0,176	0,144	0,115
Media Recortada 5%	0,158	0,101	0,110
Desviación Estándar	0,139	0,238	0,072
Error Estándar	0,008	0,015	0,004
Mínimo	0,000	0,000	0,000
Máximo	1,040	1,450	0,590
Rango	1,040	1,450	0,590
T (95%)	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,015	0,030	0,008

Figura 112. Primer resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1	0,003	0,018	0,018±0,003
Zona 2	0,031	0,148	0,148±0,031
Zona 3	0,035	0,228	0,228±0,035
Zona 4	0,021	0,115	0,115±0,021
Zona 5	0,015	0,176	0,176±0,015
Zona 6	0,030	0,144	0,144±0,030
Zona 7	0,008	0,115	0,115±0,008

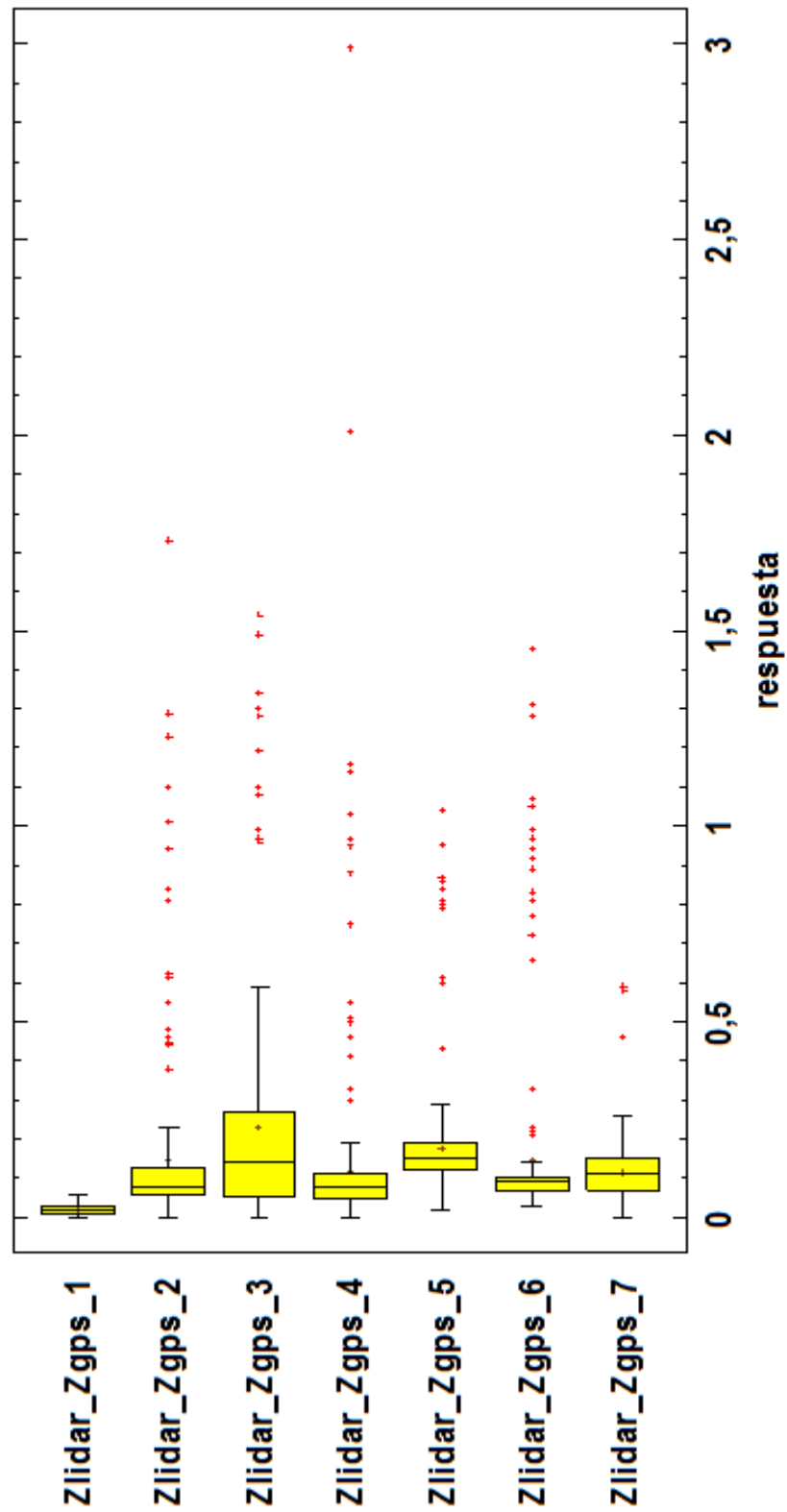
Figura 113. Precisión de los promedios

Se comprueba que en el caso de Murcia el rango de error sería de unos 21 cm ya que el valor mínimo del error es de 2 cm aproximadamente y el valor máximo de unos 23 cm. Valores que se asemejan mucho a los que se han obtenido en el estudio de Almería.

Se observa la misma tendencia que en Almería en el gráfico de caja y bigotes encontrándose todas en el rango de 23 cm con poca dispersión y con puntos atípicos poco significativos.



Gráfico Caja y Bigotes





### 3.3.3.4 LAS vs MDT (PNOA).

En este caso, se han utilizado los modelos auxiliares del PNOA a modo de comprobación con respecto a los datos LAS. Antes de poder comparar se han tenido que identificar las zonas de interés en el PNOA y aislarlas para facilitar el trabajo con estas mediante Global Mapper.

#### 3.3.3.4.1 Comparativa de la nube de puntos LiDAR con PNOA.

Se ha superpuesto la nube de puntos LiDAR, ya sea del tipo “suelo” o “superficie”, sobre el MDE del PNOA, siendo la diferencia entre ambos sistemas el error altimétrico.



Figura 115. Nube de puntos “Suelo”

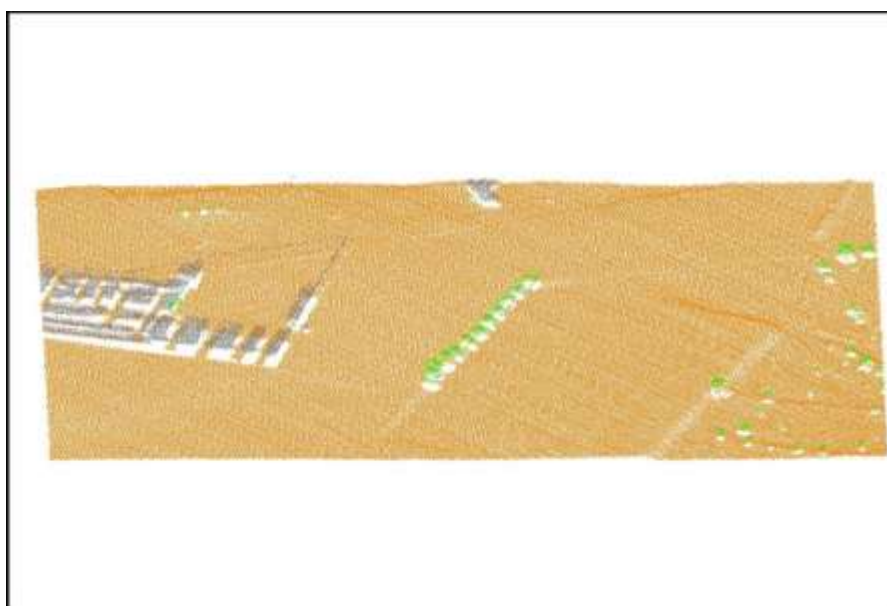


Figura 116. Nube de puntos “Superficie”



Figura 117. MDE PNOA

#### 3.3.3.4.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.

Hallada la proyección una vez más la aplicación nos genera una nube de puntos correspondiente a los errores cometidos en altimetría de manera que se ha hallado el modelo digital y a este se le ha aplicado una escala de valores en la cual se ha asignado a cada rango un color.

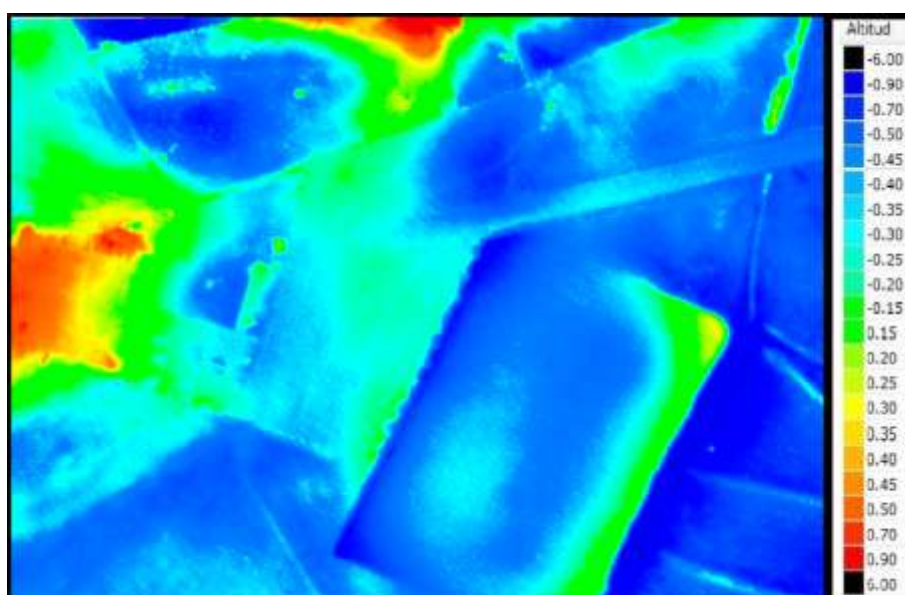


Figura 118. Mapa de tintas hipsométricas

### 3.3.3.4.3 Estadísticos.

Al tratarse de una comprobación simplemente, se han obtenido unos estadísticos básicos mediante SPSS.

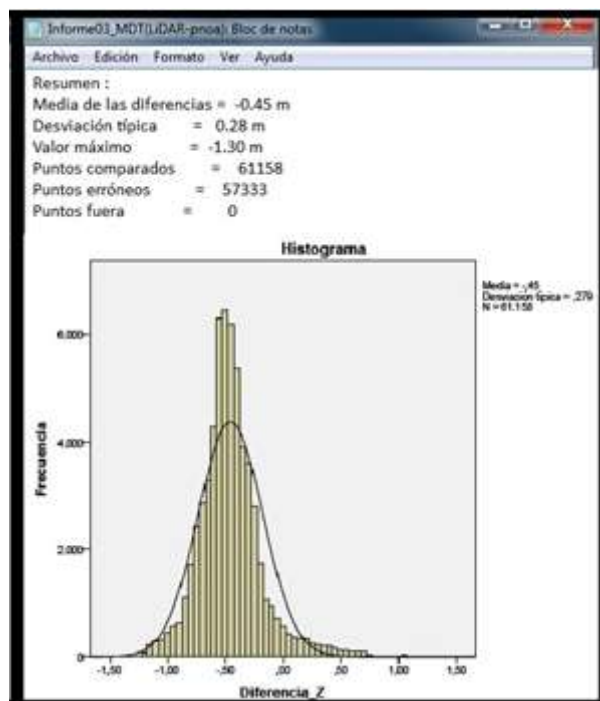


Figura 119. Breve resumen estadístico e histograma

La conclusión inmediata que podemos sacar es que la desviación típica es de 28 cm mientras que en la comparación entre GPS y LAS el error que se cometía era de 3 cm en esa misma zona (figura 103).



### 3.3.3.5 GPS vs MDT (PNOA).

Repetimos la comprobación con fuentes externas, esta vez de los datos GPS. El proceso ha sido el mismo, se han superpuesto los puntos GPS sobre el modelo digital de elevación, siendo las diferencias el error altimétrico.

#### 3.3.3.5.1 Comparativa de los datos GPS con PNOA.

Al igual que se hizo antes se han superpuesto los datos GPS ya sean del tipo “Suelo” o “Superficie” sobre el MDE del PNOA.

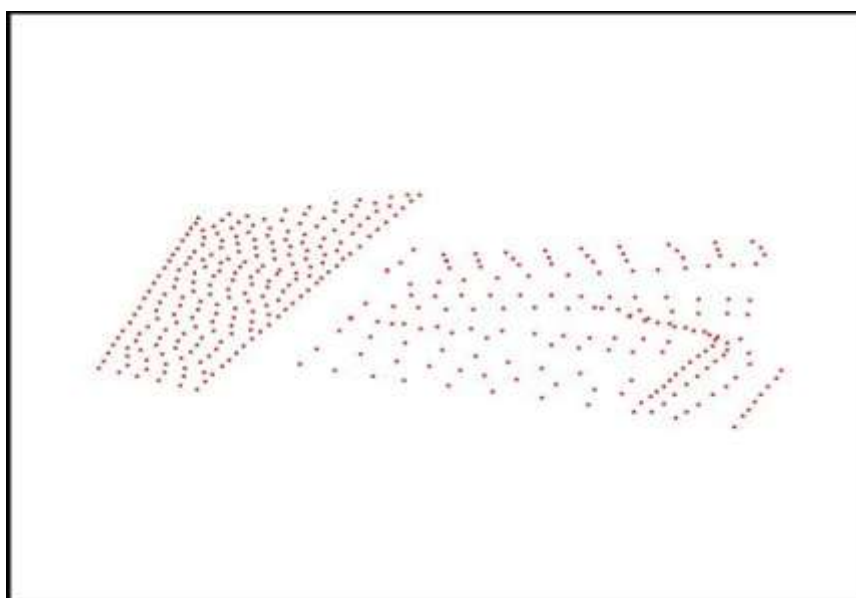


Figura 120. Puntos GPS “Suelo”

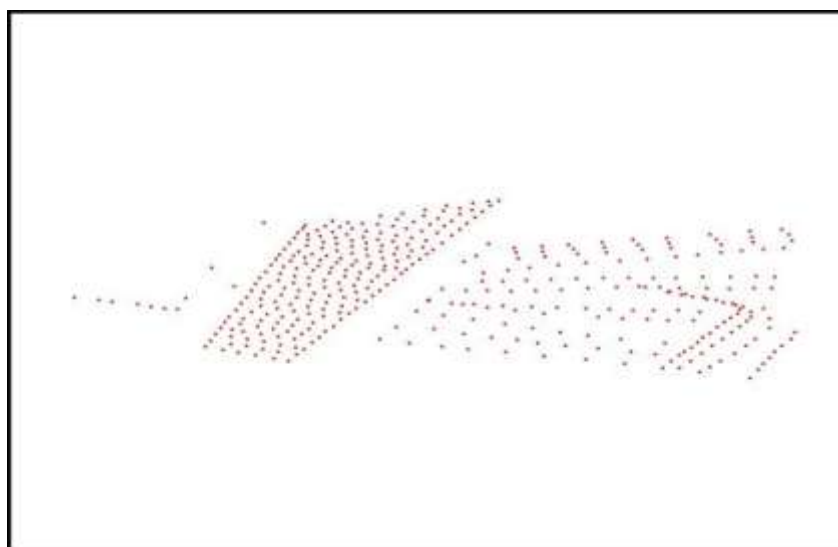


Figura 121. Nube de puntos “Superficie”



Figura 122. MDE PNOA

### *3.3.3.5.2 Obtención de errores y tintas hipsométricas.*

Hallada la proyección de nuevo la aplicación nos genera una nube de puntos correspondiente a los errores cometidos en altimetría de manera que se ha hallado el modelo digital y a este se le ha aplicado una escala de valores en la cual se ha asignado a cada rango un color.

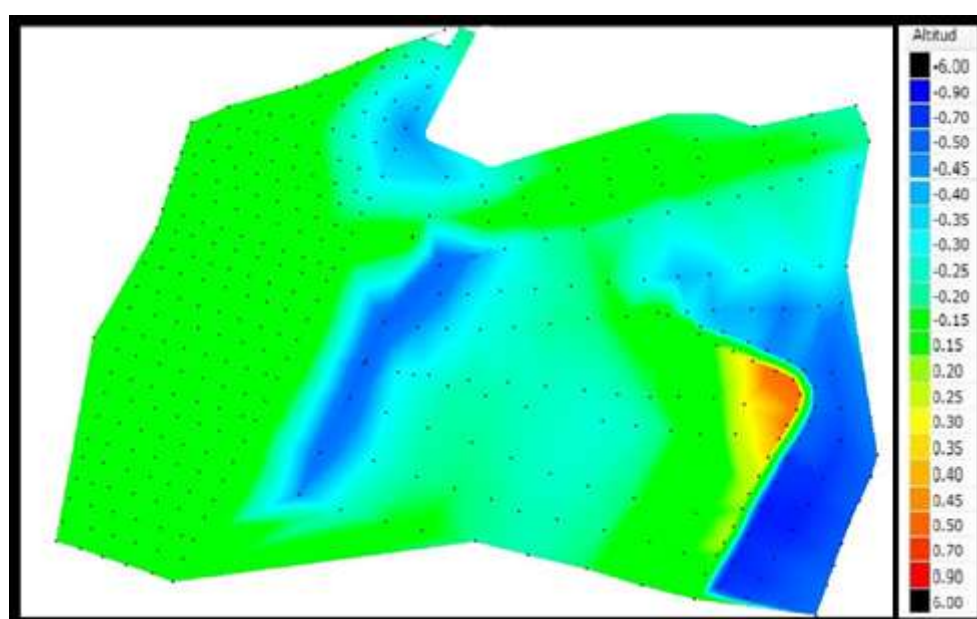


Figura 123. Mapa de tintas hipsométricas.



### 3.3.3.5.3 Estadísticos.

Al tratarse de una comprobación simplemente, se han obtenido unos estadísticos básicos mediante SPSS.

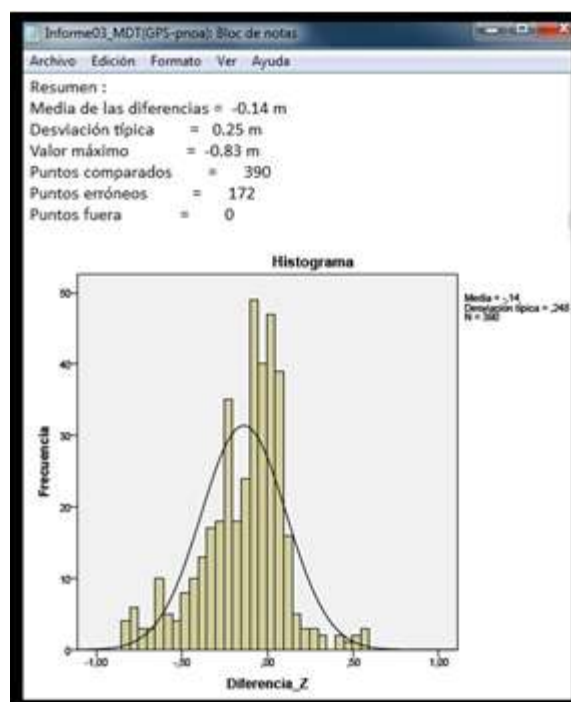


Figura 124 . Breve resumen estadístico e histograma

De la misma manera que con la comparación LiDAR vs PNOA, se observa a simple vista que la desviación típica es de 25cm, es decir, aproximadamente el mismo valor que esta. Podemos concluir que sea por la razón que sea las comparaciones con el PNOA rondan los 20 cm de desviación típica mientras que en la misma zona en la comparación LiDAR vs GPS se está hablando de 3cm de error.



### 3.3.4 Control Externo Planimétrico.

Al igual que con el control externo altimétrico, en este punto se va a comprobar la correcta posición de la información con respecto el terreno real, esta vez de forma planimétrica. En este caso, el modelo de referencia utilizado han sido las ortofotografías obtenidas del PNOA. Con estas, repetimos el mismo proceso que en el control interno planimétrico sólo que en esta ocasión, en lugar de comparar imágenes rasterizadas de la misma zona del vuelo LiDAR, utilizamos sólo una de ellas y la comparamos con la misma zona en la ortofotografía. Además también se han realizado comparaciones adicionales con datos GPS.

#### 3.3.4.1 Datos LAS, GPS y Ortofoto.

Analizamos entonces las pasadas esta vez teniendo en cuenta que las ortofotos carecen de coordenada Z por lo que las zonas tendrán que garantizar un buen posado en X e Y. De nuevo se han elegido 30 zonas (15 pertenecientes a Murcia y 15 pertenecientes a Almería).

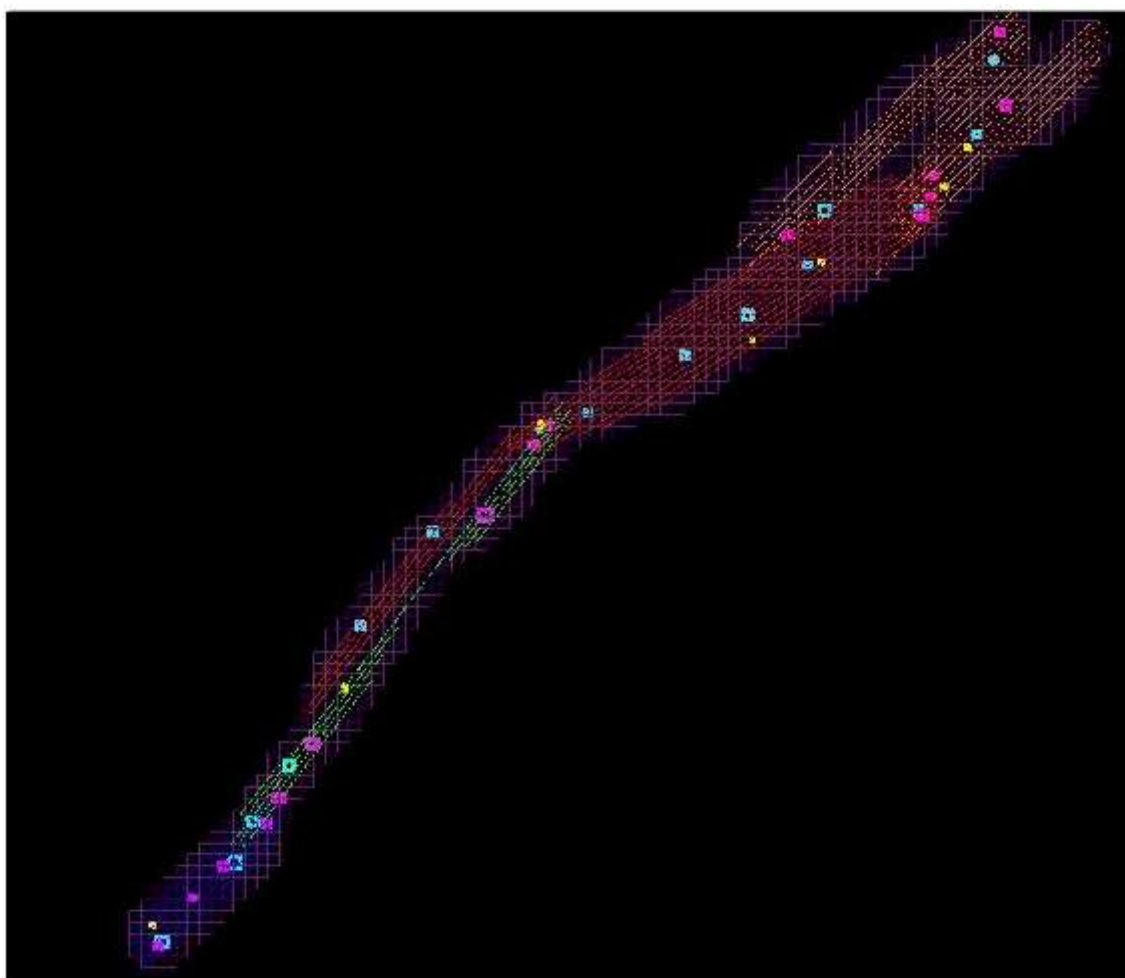


Figura 125. Disposición de las zonas de Control Externo Planimétrico en Murcia (recuadros fucsias)

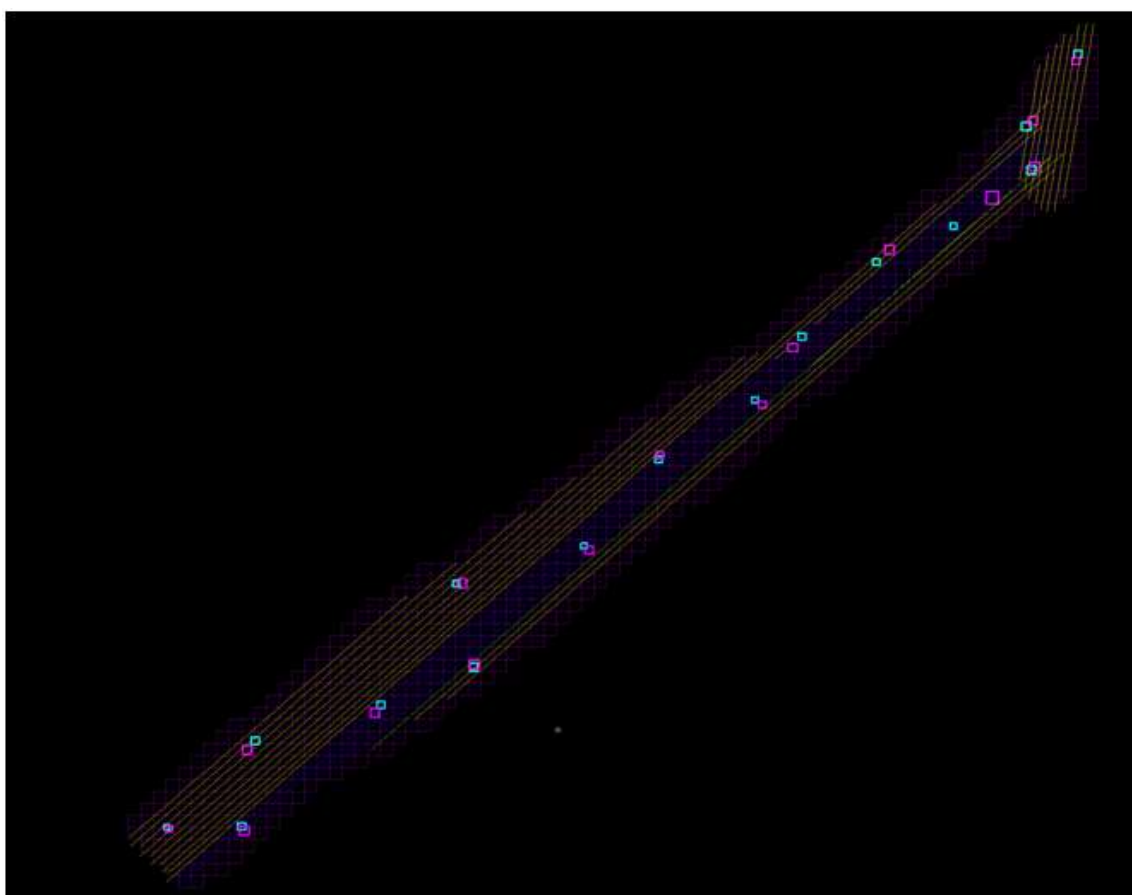


Figura 126. Disposición de las zonas de Control Externo Planimétrico en Almería (recuadros fucsias)

### 3.3.4.2 Procesamiento datos LAS y Ortofoto.

La metodología para el procesamiento de los datos LAS (nube de puntos LiDAR) es exactamente igual que el seguido en el control interno planimétrico. Seleccionadas las 30 zonas se ha realizado el recorte de las misma para su posterior rasterización obteniendo así una imagen de nivel de intensidad georreferenciada con las características ya comentadas y que volvemos a adjuntar en el siguiente cuadro.

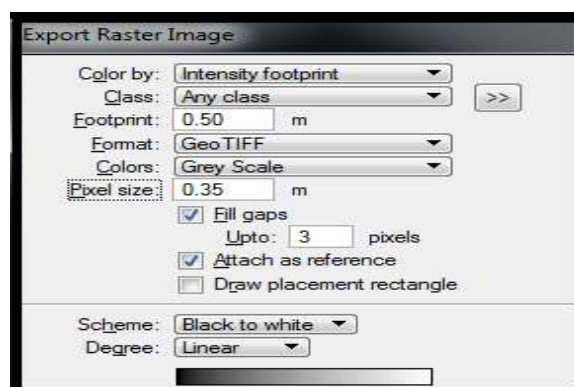


Figura 127. Características de la imagen rasterizada (Nivel de Intensidad)

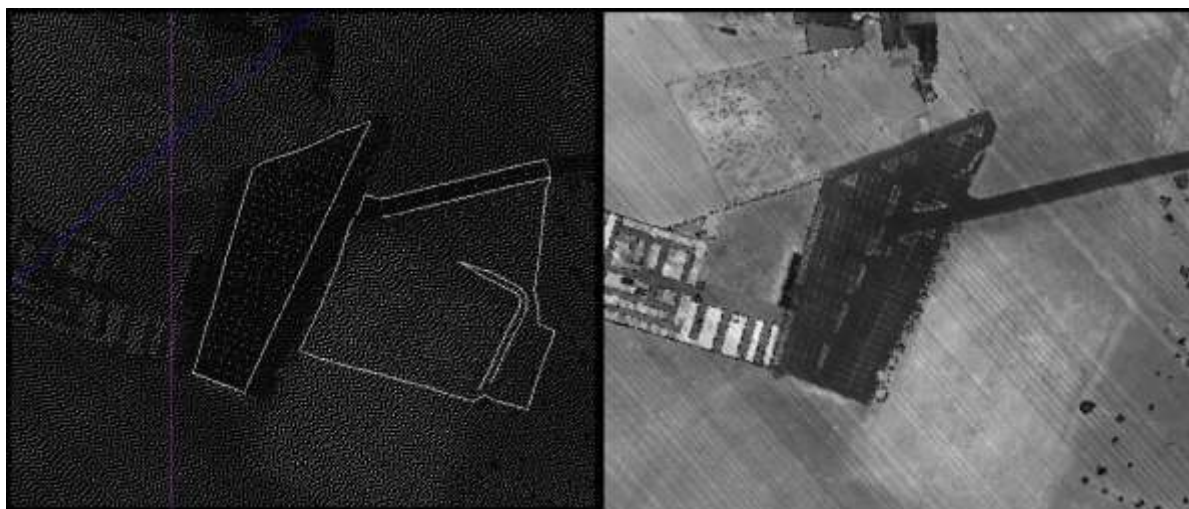


Figura 128. Comparación entre nube de puntos (izquierda) e imagen rasterizada (derecha)

En cuanto a la ortofoto, tomando como referencia las coordenadas de algún punto correspondiente a cada una de las zonas rasterizadas se han ido haciendo recortes en las ortofotos de esas mismas zonas seleccionadas mediante la aplicación Global Mapper.



Figura 129. Visión general de la Ortofoto centrada en Almería (izquierda) y recorte de la zona de interés (derecha)

### 3.3.4.2.1 Digitalización.

En el control externo planimétrico se van a dar varios casos de digitalización que vamos a englobar en este punto. El concepto principal es el mismo, mediante la aplicación Digi3D obtener puntos homólogos en ambas comparaciones. Sin embargo, en el caso del externo, cuando hay datos GPS cambia un poco la dinámica.

En el caso de que estemos comparando LAS y ortofotos el concepto va a ser el mismo que se siguió en control interno planimétrico. Se buscarán puntos que se puedan digitalizar claramente en ambas imágenes. A continuación se muestra un ejemplo que corresponde a la zona 8 (Almería).



Figura 130. Imagen rasterizada (pasada 009)



Figura 131. Ortofoto de la misma zona (ortofoto 8)



Por otro lado, si la comparación incluye datos GPS, lo que se ha hecho es tomar como referencia estos puntos y buscarlos en las otras imágenes ya sea LiDAR u ortofoto. Superponiendo los puntos GPS sobre la imagen de intensidad se ha identificado los puntos de interés y se ha tomado nota de ellos. En las imágenes de nivel de intensidad y ortofoto se ha digitalizado como ya se hiciera en el caso anterior. Los siguientes ejemplos pertenecen a las zona 3 del control externo altimétrico (Almería).

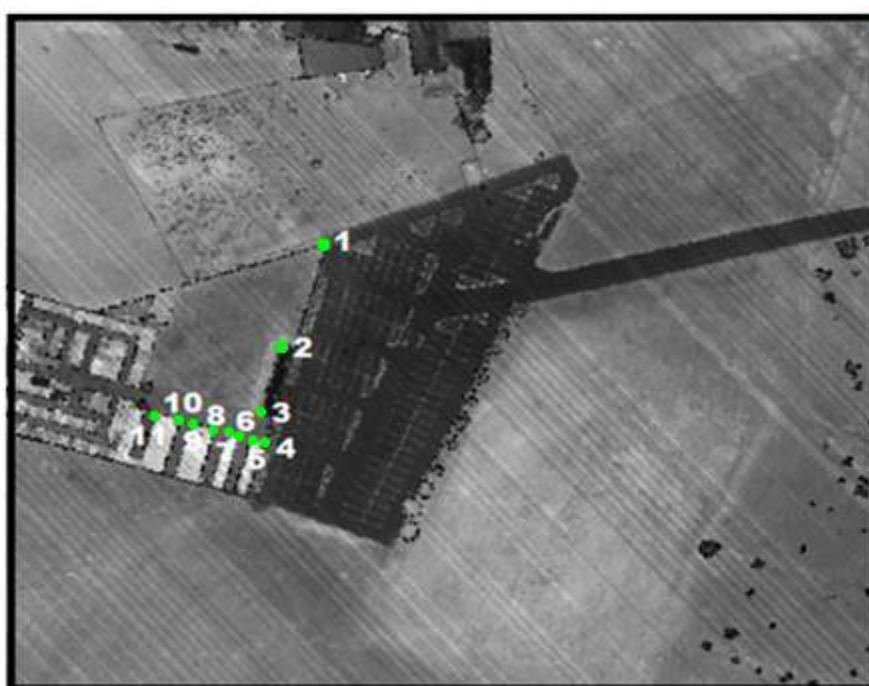


Figura 132. Puntos GPS



Figura 133. Imagen rasterizada (zona 3)





Figura 134. Digitalización ortofoto

### 3.3.4.2.2 Obtención de pares de coordenadas.

Señalados los puntos homólogos en cada una de las imágenes se ha ido tomando nota de las coordenadas en un archivo Excel indicando una serie de características necesarias para que en caso de error se puedan identificar de nuevo los puntos elegidos de manera rápida y precisa (identificación de pasada, número de puntos, coordenadas y breve descripción). A continuación se muestran las coordenadas correspondientes a los ejemplos expuestos en el punto anterior de digitalización.

En el caso de la comparación entre LAS y ortofoto se obtuvieron las siguientes coordenadas pertenecientes a la zona 8 (Almería) expuesta en las figuras 130 y 131.

Pasada	Nº	X	Y	Z	Orto	Nº	X	Y	Z
<b>9</b>	1	582971,010	4086292,480	0,000	<b>8</b>	1	582970,740	4086293,410	0,000
	2	583031,510	4086293,470	0,000		2	583031,270	4086294,160	0,000
	3	583027,840	4086215,680	0,000		3	583026,950	4086216,610	0,000
	4	582968,070	4086231,020	0,000		4	582967,470	4086231,630	0,000
	5	583036,460	4086277,930	0,000		5	583036,400	4086278,240	0,000
	6	583074,210	4086274,750	0,000		6	583074,660	4086275,220	0,000
	7	583078,340	4086285,580	0,000		7	583078,070	4086287,680	0,000
	8	583091,420	4086276,090	0,000		8	583090,700	4086276,280	0,000
	9	583076,610	4086198,330	0,000		9	583076,350	4086199,330	0,000
	10	583032,720	4086213,150	0,000		10	583032,570	4086213,720	0,000
	11	583076,910	4086191,960	0,000		11	583077,590	4086192,600	0,000
	12	583099,500	4086184,780	0,000		12	583098,440	4086185,130	0,000
	13	583076,430	4086154,780	0,000		13	583076,350	4086155,840	0,000
	14	583066,610	4086153,060	0,000		14	583066,390	4086153,670	0,000

Figura 135. Coordenadas de los puntos homólogos (Pasada 009 y ortofoto 8)

\*En el CD adjunto a la memoria se incluye un Excel con los puntos de cada una de las zonas 30 zonas.



Por otro lado, las coordenadas de la zona 3 expuesta en las figuras 132, 133, 134 que incluye datos GPS serían las siguientes.

GPS	Nº	X	Y	Z	LAS	Nº	X	Y	Z	Orto	Nº	X	Y	Z
3	1	582341,938	4085405,131	0,000	3	1	582341,090	4085404,690	0,000	3	1	582341,480	4085405,400	0,000
	2	582331,331	4085380,411	0,000		2	582331,733	4085380,020	0,000		2	582331,660	4085381,590	0,000
	3	582326,235	4085362,987	0,000		3	582326,220	4085362,780	0,000		3	582326,290	4085363,210	0,000
	4	582324,611	4085356,823	0,000		4	582324,210	4085356,830	0,000		4	582324,540	4085357,150	0,000
	5	582321,747	4085357,638	0,000		5	582321,490	4085357,700	0,000		5	582321,730	4085357,900	0,000
	6	582318,933	4085358,493	0,000		6	582318,040	4085358,320	0,000		6	582318,730	4085358,460	0,000
	7	582316,273	4085359,320	0,000		7	582315,980	4085359,100	0,000		7	582316,160	4085359,400	0,000
	8	582310,394	4085360,868	0,000		8	582310,510	4085360,150	0,000		8	582310,540	4085360,840	0,000
	9	582308,194	4085361,664	0,000		9	582307,930	4085361,030	0,000		9	582308,660	4085361,520	0,000
	10	582303,076	4085363,174	0,000		10	582302,770	4085362,600	0,000		10	582302,980	4085362,966	0,000

Figura 136. Coordenadas de los puntos homólogos (GPS, LAS, Ortofoto)

### 3.3.4.3 LAS (Nivel de Intensidad) vs Ortofoto.

En este apartado se va englobar todo lo perteneciente a la comparación entre una imagen de nivel de intensidad y la ortofoto, es decir, los resultados obtenidos de la digitalización de las figuras 130 y 131 en el apartado 3.3.4.2.1 *Digitalización*.

#### 3.3.4.3.1 Diferencias gráficas.

Como ya se hiciera en el control interno planimétrico, se ha incluido una representación gráfica de ambas digitalizaciones de manera que podamos hacernos una idea a simple vista del error cometido. El programa Digi3D nos genera unos archivos que al superponerlos nos dan la siguiente imagen en la que podemos apreciar la comparación entre la pasada 009 y la ortofoto 8 (zona 8 de Almería). Una vez más aclaramos que el ejemplo numérico que se ha señalado en la imagen pertenece a uno de los puntos que mayor error posee viéndose así el error más claro gráficamente.

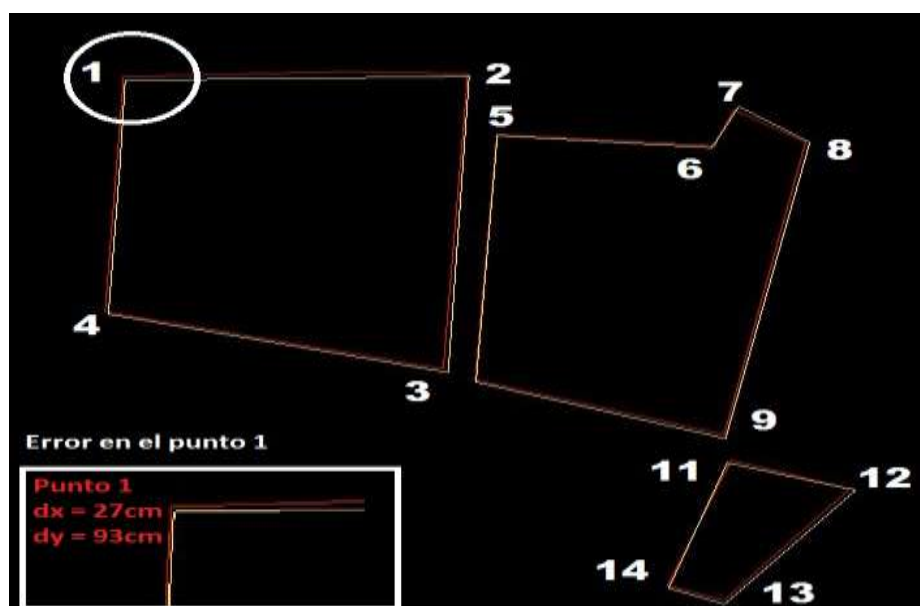


Figura 137. Diferencias gráficas



\*En el CD adjunto a la memoria se incluyen cada una de las diferencias gráficas obtenidas a partir de las comparaciones en las 30 zonas elegidas.

### 3.3.4.3.2 Transformación bidimensional.

Para poder hacernos una idea previa y detectar posibles tendencias nuevamente se ha llevado a cabo mediante Taller Fotogramétrico transformaciones afines bidimensionales entre puntos homólogos. Aclaramos una vez más que este proceso va a resultar más bien orientativo cuya finalidad va a ser la detección de posibles errores groseros

Al comparar la imagen de nivel de intensidad 009 y la ortofoto 8 se han obtenido los siguientes parámetros.

#### Parámetros de Transf. 2D

Factor de escala : 1.00044831

Traslaciones : DX = 0.263, DY = -0.643, DZ = 0.000

Rotaciones : Omega = 0.0000 gon, Phi = 0.0000 gon, Kappa = -0.0627 gon

1	582970.9046	4086292.7197	0.0000	0.1054	-0.2397	0.0000
2	583031.4609	4086293.5297	0.0000	0.0491	-0.0597	0.0000
3	583027.2154	4086215.9407	0.0000	0.6246	-0.2607	0.0000
4	582967.6940	4086230.9088	0.0000	0.3760	0.1112	0.0000
5	583036.6089	4086277.6076	0.0000	-0.1489	0.3224	0.0000
6	583074.8890	4086274.6239	0.0000	-0.6790	0.1261	0.0000
7***	583078.2883	4086287.0929	0.0000	0.6517	-1.5129	0.0000
8	583090.9352	4086275.7002	0.0000	0.4848	0.3898	0.0000
9	583076.6546	4086198.7016	0.0000	-0.0446	-0.3716	0.0000
10	583032.8408	4086213.0549	0.0000	-0.1208	0.0951	0.0000
11	583077.9017	4086191.9698	0.0000	-0.9917	-0.0098	0.0000
12	583098.7684	4086184.5170	0.0000	0.7316	0.2630	0.0000
13	583076.6974	4086155.1921	0.0000	-0.2674	-0.4121	0.0000
14	583066.7292	4086159.0140	0.0000	-0.1192	0.0460	0.0000

Suma cuadrados residuos : 3.685833

Desviación Típica de Referencia: 0.3394 unidades del sistema de control.

Figura 138. Parámetros de la transformación 2D

A continuación se muestra una lista de los parámetros obtenidos en las 15 zonas de Almería y en las 15 zonas de Murcia.



Modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
1	0,998	-0,515	-0,379	0,000	0,000	0,000	0,020	0,301
2	0,993	1,852	0,597	0,000	0,000	0,000	0,728	0,596
3	0,996	0,022	0,008	0,000	0,000	0,000	-0,111	0,415
4(1-2)	1,004	0,048	-0,560	-0,077	0,000	0,000	-0,077	0,177
4(1-3)	0,997	0,231	-0,469	0,000	0,000	0,000	-0,160	0,175
4(2-3)	0,999	0,282	-0,673	0,000	0,000	0,000	0,430	0,300
5(1-2)	0,999	-1,069	-0,376	0,000	0,000	0,000	0,030	0,490
5(1-3)	1,000	-0,907	-0,456	0,000	0,000	0,000	0,090	0,413
6	1,004	-0,747	-1,123	0,000	0,000	0,000	0,024	0,227
7	1,002	0,105	-0,361	0,000	0,000	0,000	-0,006	0,397
8	1,000	0,263	-0,643	0,000	0,000	0,000	-0,063	0,339
9	1,001	-0,190	-0,939	0,000	0,000	0,000	0,049	0,339
10(1-2)	1,002	-0,567	-1,033	0,000	0,000	0,000	0,090	0,437
10(1-3)	1,004	-0,331	-1,132	0,000	0,000	0,000	0,069	0,457
11	1,004	0,249	-1,300	0,000	0,000	0,000	-0,266	0,458
12	1,000	-0,172	-1,218	0,000	0,000	0,000	-0,057	0,395
13	0,996	-0,075	-1,357	0,000	0,000	0,000	-0,209	0,343
14	0,999	0,761	-0,691	0,000	0,000	0,000	-0,036	0,407
15	1,002	0,334	0,280	0,000	0,000	0,000	0,012	0,211

Figura 139. Parámetros Almería

Modelo	$\lambda$	TX	TY	TZ	$\Omega$	$\Phi$	K	$\sigma$
1	0,998	0,113	-0,475	0,000	0,000	0,000	-0,135	0,287
2	1,002	-1,099	-0,222	0,000	0,000	0,000	-0,089	0,421
3	1,020	0,226	0,165	0,000	0,000	0,000	0,203	0,364
4	0,988	0,434	-0,148	0,000	0,000	0,000	0,172	0,135
5	0,973	0,363	-0,794	0,000	0,000	0,000	0,866	0,267
6	1,004	0,425	-0,120	0,000	0,000	0,000	-0,354	0,341
7	1,006	0,097	0,419	0,000	0,000	0,000	0,034	0,480
9	1,005	0,478	-0,654	0,000	0,000	0,000	0,191	0,230
10	0,997	0,222	-0,406	0,000	0,000	0,000	-0,234	0,119
11	0,998	-0,138	-0,168	0,000	0,000	0,000	-0,006	0,200
12	1,007	-0,020	0,037	0,000	0,000	0,000	-0,421	0,184
13	1,000	0,124	-0,271	0,000	0,000	0,000	-0,144	0,375
14	0,990	0,025	-0,151	0,000	0,000	0,000	0,519	0,071
15	0,990	0,025	-0,151	0,000	0,000	0,000	0,519	0,071

Figura 140. Parámetros Murcia

En el caso del control planimétrico externo a diferencia del interno si se observa cierto sistematismo en una de las traslaciones. Mientras que la traslación en X se comporta de una manera aleatoria, a veces positiva y otras negativa, la traslación en Y muestra una tendencia y es que la mayoría de los valores son negativos tanto en Murcia como en Almería. El valor promedio en las traslaciones sería de 2 cm en la X y 62 cm en la Y en Almería y de 10 cm en X y 21 cm en Y en Murcia. El valor promedio de las desviaciones típicas es de 36 cm en Almería y de 25 cm en Murcia.



A continuación se han adjuntado las coordenadas medidas en las figuras 133 y 134 del apartado 3.3.4.2.1 *Digitalización* así como también los parámetros resultados de la comparación entre ambas imágenes. Estas imágenes pertenecen a la zona 03 del control externo altimétrico (Almería). Se ha elegido esta zona debido a que contaba con una serie de puntos GPS sobre edificios perfectamente identificables en una imagen rasterizada (nivel de intensidad) y en una ortofoto con los que poder realizar una comprobación entre tres fuentes de datos diferentes y ver como ya se hiciera en el control externo altimétrico si estos datos son fiables.

LAS	Nº	X	Y	Z	Orto	Nº	X	Y	Z	Parámetros
<b>3</b>	1	582341,090	4085404,690	0,000	<b>3</b>	1	582341,480	4085405,400	0,000	0,010 Tx
	2	582331,733	4085380,020	0,000		2	582331,660	4085381,590	0,000	0,521 Ty
	3	582326,220	4085362,780	0,000		3	582326,290	4085363,210	0,000	0 Tz
	4	582324,210	4085356,830	0,000		4	582324,540	4085357,150	0,000	0 ω
	5	582321,490	4085357,700	0,000		5	582321,730	4085357,900	0,000	0 φ
	6	582319,040	4085358,320	0,000		6	582318,730	4085358,460	0,000	-1,158 κ
	7	582315,980	4085359,100	0,000		7	582316,160	4085359,400	0,000	1,0402 λ
	8	582310,910	4085360,150	0,000		8	582310,540	4085360,840	0,000	
	9	582307,930	4085361,030	0,000		9	582308,660	4085361,520	0,000	0,2048 σ
	10	582302,770	4085362,600	0,000		10	582302,980	4085362,966	0,000	

Figura 141. Parámetros transformación bidimensional

Más adelante y tras haber mostrado las otras dos comparaciones que faltan (LAS vs GPS y GPS vs Ortofoto) se incluirá una conclusión.

### 3.3.4.3.3 Estadísticos.

Habiéndonos hecho una idea inicial con los parámetros hallados en las transformaciones se propone como metodología para estudiar el comportamiento del sensor LiDAR el estudio estadístico de los residuos resultantes de comparar puntos homólogos hallando las diferencias entre coordenadas X e Y.

A continuación se adjunta una imagen en la cual se ven los residuos producidos de la comparación con el PNOA de la imagen de nivel de intensidad de la zona 8 de Almería (figuras 130 y 131) la cual se ha utilizado como ejemplo anteriormente.

Zona	Nº	Error (009-Orto8)	
		Dif_X	Dif_Y
<b>8</b>	1	-0,270	0,930
	2	-0,240	0,690
	3	-0,890	0,930
	4	-0,600	0,610
	5	-0,060	0,310
	6	0,450	0,470
	7	-0,870	2,100
	8	-0,720	0,190
	9	-0,260	1,000
	10	-0,150	0,570
	11	0,680	0,640
	12	-1,060	0,350
	13	-0,080	1,060
	14	-0,220	0,610

Figura 142. Residuos



Hallados los residuos de las 15 zonas ya sea en Murcia y Almería se ha realizado el estudio estadístico por separado de las distintas diferencias en X e Y de manera que se puedan comparar los promedios y dispersión en las 30 zonas según estas dos coordenadas.

### Almería.

De nuevo se ha introducido en statgraphics las diferencias en X e Y de las 15 zonas de Almería. Se ha obtenido el promedio de cada una de las zonas en cada una de las tres coordenadas y se ha hallado la precisión de estos promedios con un intervalo de confianza del 95%. Además se han añadido otros datos de cada una de las zonas con los que mostrar una información más completa como son el recuento de puntos de cada zona, la media recortada 5% la desviación estándar y el error estándar, los mínimos y máximos y el rango.

#### Estadísticos Coordenada X

	Zona 1 (X)	Zona 2 (X)	Zona 3 (X)	Zona 4 (X)_1	Zona 4 (X)_2
Recuento	16	14	13	15	15
Promedio	0,532	1,889	0,366	0,213	0,325
Media Recortada 5%	0,511	1,911	0,363	0,200	0,318
Desviación Estándar	0,373	0,979	0,264	0,169	0,231
Error Estándar	0,093	0,262	0,073	0,044	0,060
Mínimo	0,020	0,260	0,010	0,030	0,010
Máximo	1,420	3,120	0,780	0,630	0,770
Rango	1,400	2,860	0,770	0,600	0,760
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,183	0,513	0,143	0,086	0,117

Figura 143. Primer resumen estadístico

	Zona 4 (X)_3	Zona 5 (X)_1	Zona 5 (X)_2	Zona 6 (X)	Zona 7 (X)
Recuento	15	16	16	15	15
Promedio	0,370	1,126	0,914	0,823	0,458
Media Recortada 5%	0,356	1,126	0,912	0,831	0,426
Desviación Estándar	0,278	0,565	0,518	0,364	0,351
Error Estándar	0,072	0,141	0,129	0,094	0,091
Mínimo	0,030	0,030	0,230	0,210	0,070
Máximo	0,970	2,210	1,640	1,290	1,430
Rango	0,940	2,180	1,410	1,080	1,360
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,141	0,277	0,254	0,184	0,178

Figura 144. Segundo resumen estadístico





	Zona 8 (X)	Zona 9 (X)	Zona 10 (X)_1	Zona 10 (X)_2	Zona 11 (X)
Recuento	14	14	15	15	14
Promedio	0,468	0,360	0,673	0,595	0,669
Media Recortada 5%	0,458	0,346	0,615	0,583	0,653
Desviación Estándar	0,332	0,258	0,462	0,413	0,530
Error Estándar	0,089	0,069	0,119	0,107	0,142
Mínimo	0,060	0,040	0,270	0,090	0,040
Máximo	1,060	0,930	2,120	1,310	1,580
Rango	1,000	0,890	1,850	1,220	1,540
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,174	0,135	0,234	0,209	0,278

Figura 145. Tercer resumen estadístico

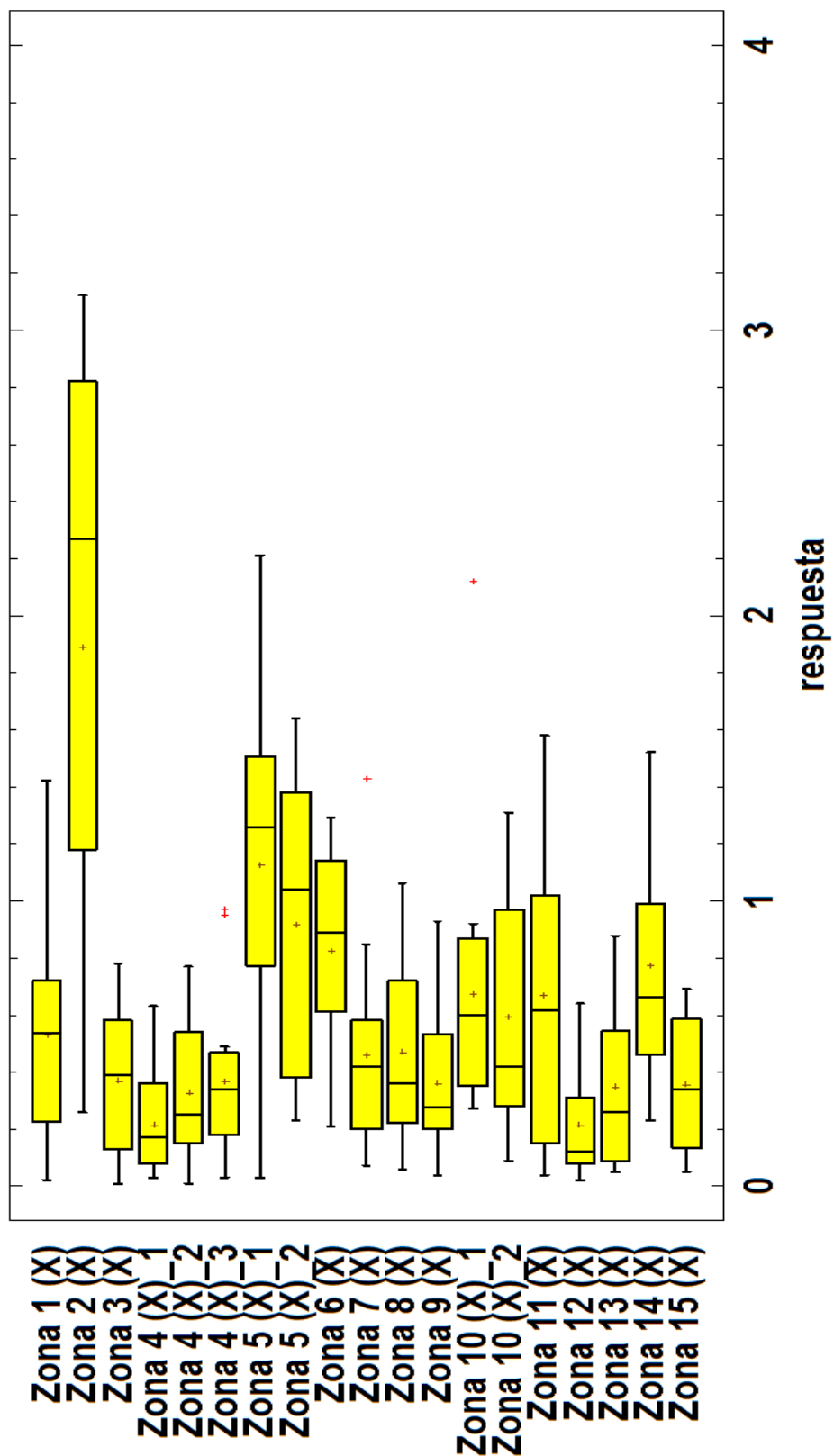
	Zona 12 (X)	Zona 13 (X)	Zona 14 (X)	Zona 15 (X)
Recuento	9	12	17	16
Promedio	0,214	0,347	0,775	0,355
Media Recortada 5%	0,202	0,334	0,764	0,353
Desviación Estándar	0,202	0,279	0,358	0,231
Error Estándar	0,067	0,080	0,087	0,058
Mínimo	0,020	0,050	0,230	0,050
Máximo	0,640	0,880	1,520	0,690
Rango	0,620	0,830	1,290	0,640
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,132	0,158	0,170	0,113

Figura 146. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1 (X)	0,183	0,532	0,532±0,183
Zona 2 (X)	0,513	1,889	1,889±0,513
Zona 3 (X)	0,143	0,366	0,366±0,143
Zona 4 (X)_1	0,086	0,213	0,213±0,086
Zona 4 (X)_2	0,117	0,325	0,325±0,117
Zona 4 (X)_3	0,141	0,370	0,370±0,141
Zona 5 (X)_1	0,277	1,126	1,126±0,277
Zona 5 (X)_2	0,254	0,914	0,914±0,254
Zona 6 (X)	0,184	0,823	0,823±0,184
Zona 7 (X)	0,178	0,458	0,458±0,178
Zona 8 (X)	0,174	0,468	0,468±0,174
Zona 9 (X)	0,135	0,360	0,360±0,135
Zona 10 (X)_1	0,234	0,673	0,673±0,234
Zona 10 (X)_2	0,209	0,595	0,595±0,209
Zona 11 (X)	0,278	0,669	0,669±0,278
Zona 12 (X)	0,132	0,214	0,214±0,132
Zona 13 (X)	0,158	0,347	0,347±0,158
Zona 14 (X)	0,170	0,775	0,775±0,170
Zona 15 (X)	0,113	0,355	0,355±0,113

Figura 147. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





### Estadísticos Coordenadas Y

	Zona 1 (Y)	Zona 2 (Y)	Zona 3 (Y)	Zona 4 (Y)_1	Zona 4 (Y)_2
Recuento	16	14	13	15	15
Promedio	0,423	0,647	0,340	0,603	0,463
Media Recortada 5%	0,423	0,632	0,306	0,596	0,446
Desviación Estándar	0,234	0,429	0,365	0,240	0,283
Error Estándar	0,058	0,115	0,101	0,062	0,073
Mínimo	0,010	0,010	0,020	0,210	0,080
Máximo	0,820	1,550	1,270	1,110	1,160
Rango	0,810	1,540	1,250	0,900	1,080
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,114	0,224	0,198	0,121	0,143

Figura 149. Primer resumen estadístico

	Zona 4 (Y)_3	Zona 5 (Y)_1	Zona 5 (Y)_2	Zona 6 (Y)	Zona 7 (Y)
Recuento	15	16	16	15	15
Promedio	0,673	0,649	0,641	1,122	0,485
Media Recortada 5%	0,643	0,589	0,566	1,115	0,475
Desviación Estándar	0,374	0,543	0,595	0,355	0,372
Error Estándar	0,097	0,136	0,149	0,092	0,096
Mínimo	0,140	0,050	0,030	0,620	0,030
Máximo	1,740	2,320	2,600	1,750	1,119
Rango	1,600	2,270	2,570	1,130	1,089
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,189	0,266	0,292	0,180	0,188

Figura 150. Segundo resumen estadístico

	Zona 8 (Y)	Zona 9 (Y)	Zona 10 (Y)_1	Zona 10 (Y)_2	Zona 11 (Y)
Recuento	14	14	15	15	14
Promedio	0,747	1,062	1,048	1,103	1,454
Media Recortada 5%	0,703	1,046	1,041	1,063	1,461
Desviación Estándar	0,471	0,510	0,448	0,558	0,572
Error Estándar	0,126	0,136	0,116	0,144	0,153
Mínimo	0,190	0,430	0,400	0,480	0,490
Máximo	2,100	1,990	1,820	2,460	2,300
Rango	1,910	1,560	1,420	1,980	1,810
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,246	0,267	0,227	0,283	0,300

Figura 151. Tercer resumen estadístico



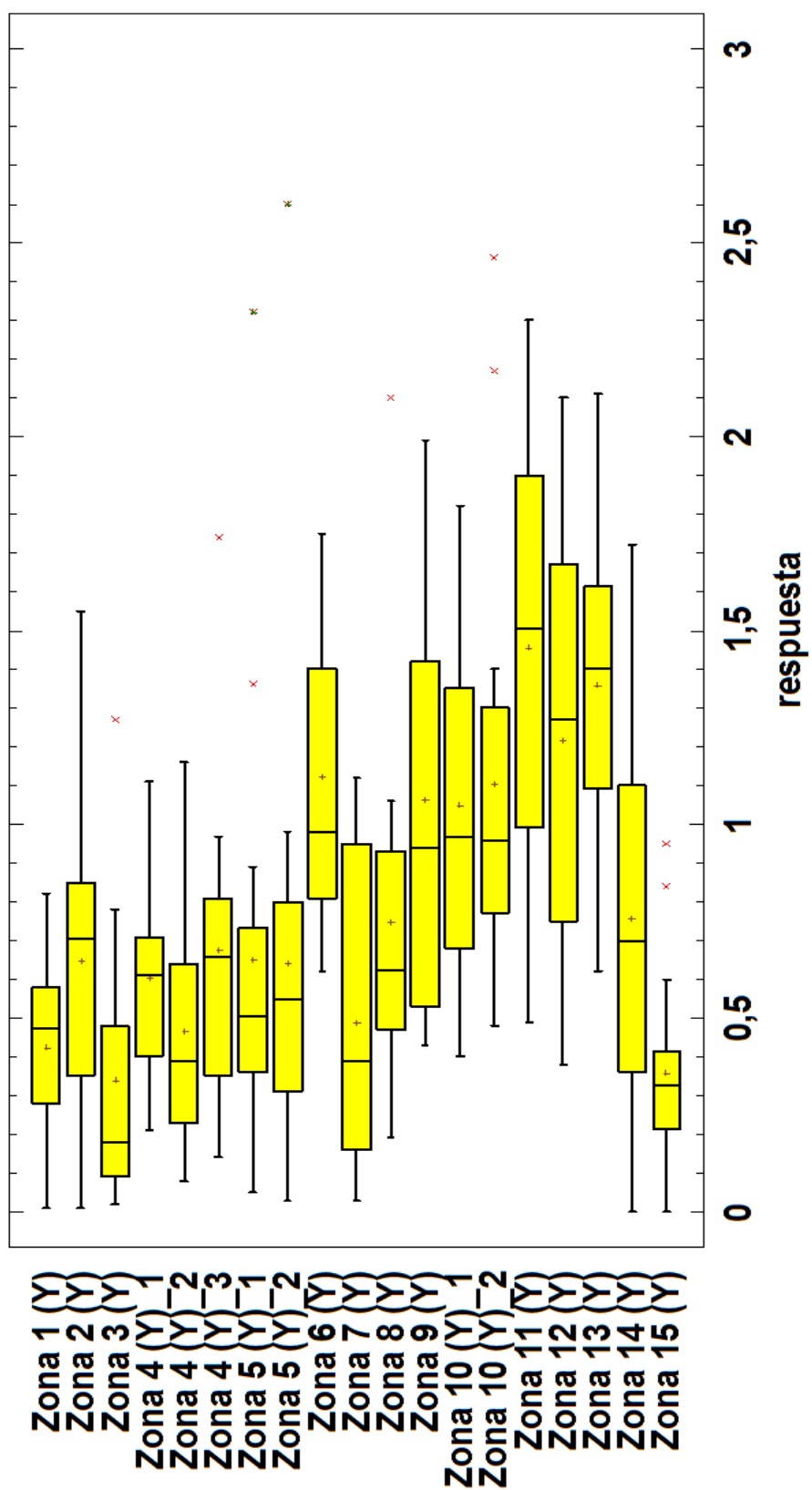
	Zona 12 (Y)	Zona 13 (Y)	Zona 14 (Y)	Zona 15 (Y)
Recuento	9	12	17	16
Promedio	1,218	1,357	0,755	0,358
Media Recortada 5%	1,215	1,356	0,744	0,344
Desviación Estándar	0,576	0,415	0,508	0,261
Error Estándar	0,192	0,120	0,123	0,065
Mínimo	0,380	0,620	0,000	0,000
Máximo	2,100	2,110	1,720	0,950
Rango	1,720	1,490	1,720	0,950
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,376	0,235	0,241	0,128

Figura 152. Cuarto resumen estadístico

Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona 1 (Y)	0,114	0,423	0,423±0,114
Zona 2 (Y)	0,224	0,647	0,647±0,224
Zona 3 (Y)	0,198	0,340	0,340±0,198
Zona 4 (Y)_1	0,121	0,603	0,603±0,121
Zona 4 (Y)_2	0,143	0,463	0,463±0,143
Zona 8 (Y)	0,189	0,673	0,673±0,189
Zona 9 (Y)	0,266	0,649	0,649±0,266
Zona 10 (Y)_1	0,292	0,641	0,641±0,292
Zona 10 (Y)_2	0,180	1,122	1,122±0,180
Zona 11 (Y)	0,188	0,485	0,485±0,188
Zona 4 (Y)_3	0,246	0,747	0,747±0,246
Zona 5 (Y)_1	0,267	1,062	1,062±0,267
Zona 5 (Y)_2	0,227	1,048	1,048±0,227
Zona 6 (Y)	0,283	1,103	1,103±0,283
Zona 7 (Y)	0,300	1,454	1,545±0,300
Zona 12 (Y)	0,376	1,218	1,218±0,235
Zona 13 (Y)	0,235	1,357	1,357±0,235
Zona 14 (Y)	0,241	0,755	0,755±0,241
Zona 15 (Y)	0,128	0,358	0,358±0,128

Figura 153. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





## Murcia.

Se ha repetido el proceso anterior para las 15 zonas de Murcia hallando los siguientes resultados.

### Estadísticos Coordenada X

	Zona1 X	Zona2 X	Zona3 X	Zona4 X	Zona5 X
Recuento	8	16	10	12	11
Promedio	0,310	1,099	0,564	0,434	0,340
Media Recortada 5%	0,305	1,107	0,572	0,435	0,328
Desviación Estándar	0,182	0,481	0,330	0,147	0,278
Error Estándar	0,064	0,120	0,104	0,042	0,084
Mínimo	0,071	0,213	0,042	0,156	0,001
Máximo	0,651	1,839	0,945	0,687	0,904
Rango	0,580	1,626	0,903	0,531	0,903
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,126	0,235	0,205	0,083	0,164

Figura 155. Primer resumen estadístico

	Zona6 X	Zona7 X	Zona9 X	Zona10 X	Zona11 X
Recuento	10	12	9	11	12
Promedio	0,442	0,439	0,481	0,335	0,295
Media Recortada 5%	0,427	0,438	0,483	0,320	0,288
Desviación Estándar	0,393	0,273	0,165	0,316	0,192
Error Estándar	0,124	0,079	0,055	0,095	0,055
Mínimo	0,027	0,038	0,211	0,003	0,052
Máximo	1,125	0,859	0,715	0,940	0,656
Rango	1,098	0,821	0,504	0,937	0,604
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,243	0,155	0,108	0,187	0,109

Figura 156. Segundo resumen estadístico

	Zona12 X	Zona13 X	Zona14 X	Zona15 X
Recuento	12	11	12	10
Promedio	0,149	0,389	0,119	0,107
Media Recortada 5%	0,126	0,382	0,107	0,104
Desviación Estándar	0,201	0,307	0,126	0,087
Error Estándar	0,058	0,093	0,036	0,028
Mínimo	0,004	0,036	0,006	0,006
Máximo	0,699	0,864	0,458	0,263
Rango	0,695	0,828	0,452	0,257
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,114	0,181	0,071	0,054

Figura 157. Tercer resumen estadístico

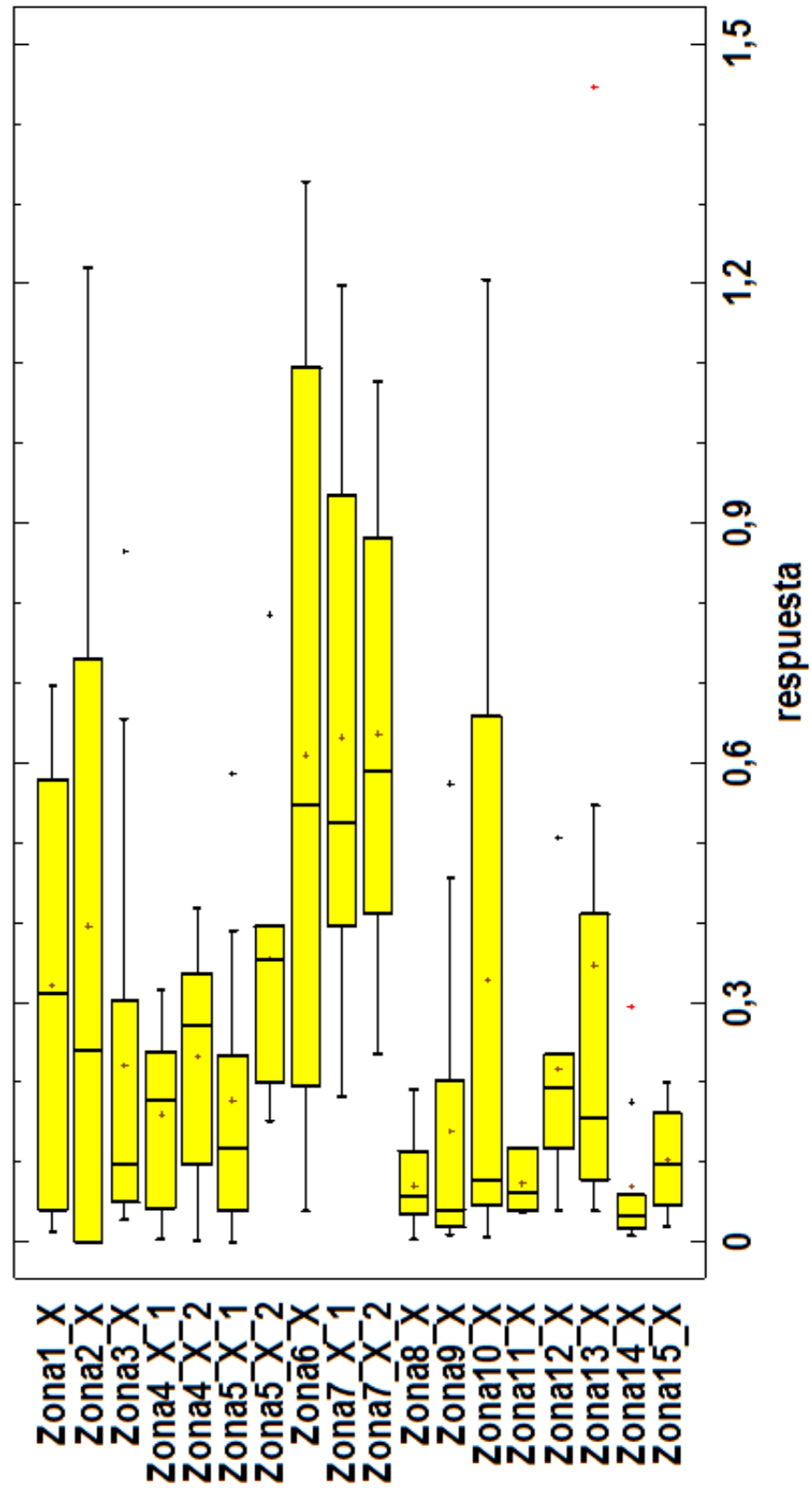




Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona1_X	0,126	0,310	0,310±0,126
Zona2_X	0,235	1,099	1,099±0,235
Zona3_X	0,205	0,564	0,564±0,205
Zona4_X	0,083	0,434	0,434±0,083
Zona5_X	0,164	0,340	0,340±0,164
Zona6_X	0,243	0,442	0,442±0,243
Zona7_X	0,155	0,439	0,439±0,155
Zona9_X	0,108	0,481	0,481±0,108
Zona10_X	0,187	0,335	0,335±0,187
Zona11_X	0,109	0,295	0,295±0,109
Zona12_X	0,114	0,149	0,149±0,114
Zona13_X	0,181	0,389	0,388±0,181
Zona14_X	0,071	0,119	0,119±0,071
Zona15_X	0,054	0,107	0,107±0,054

Figura 158. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





### Estadísticos Coordenada Y

	Zona1_Y	Zona2_Y	Zona3_Y	Zona4_Y	Zona5_Y
Recuento	8	16	10	12	11
Promedio	0,482	0,561	0,472	0,192	0,803
Media Recortada 5%	0,473	0,568	0,471	0,191	0,799
Desviación Estándar	0,401	0,221	0,191	0,141	0,481
Error Estándar	0,142	0,055	0,060	0,041	0,145
Mínimo	0,020	0,158	0,162	0,013	0,018
Máximo	1,104	0,837	0,793	0,395	1,668
Rango	1,084	0,679	0,631	0,382	1,650
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,278	0,108	0,118	0,080	0,285

Figura 160. Primer resumen estadístico

	Zona6_Y	Zona7_Y	Zona9_Y	Zona10_Y	Zona11_Y
Recuento	10	12	9	11	12
Promedio	0,420	0,496	0,655	0,378	0,183
Media Recortada 5%	0,413	0,476	0,627	0,372	0,174
Desviación Estándar	0,405	0,558	0,355	0,237	0,157
Error Estándar	0,128	0,161	0,118	0,072	0,045
Mínimo	0,004	0,005	0,317	0,105	0,006
Máximo	0,962	1,335	1,494	0,767	0,523
Rango	0,958	1,330	1,177	0,662	0,517
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,251	0,316	0,232	0,140	0,089

Figura 161. Segundo resumen estadístico

	Zona12_Y	Zona13_Y	Zona14_Y	Zona15_Y
Recuento	12	11	12	10
Promedio	0,265	0,359	0,179	0,045
Media Recortada 5%	0,261	0,340	0,180	0,044
Desviación Estándar	0,178	0,326	0,109	0,036
Error Estándar	0,051	0,098	0,031	0,011
Mínimo	0,028	0,033	0,008	0,002
Máximo	0,561	1,018	0,326	0,100
Rango	0,533	0,985	0,318	0,098
T (95%)	1,960	1,960	1,960	1,960
Precisión 95%	0,101	0,193	0,061	0,022

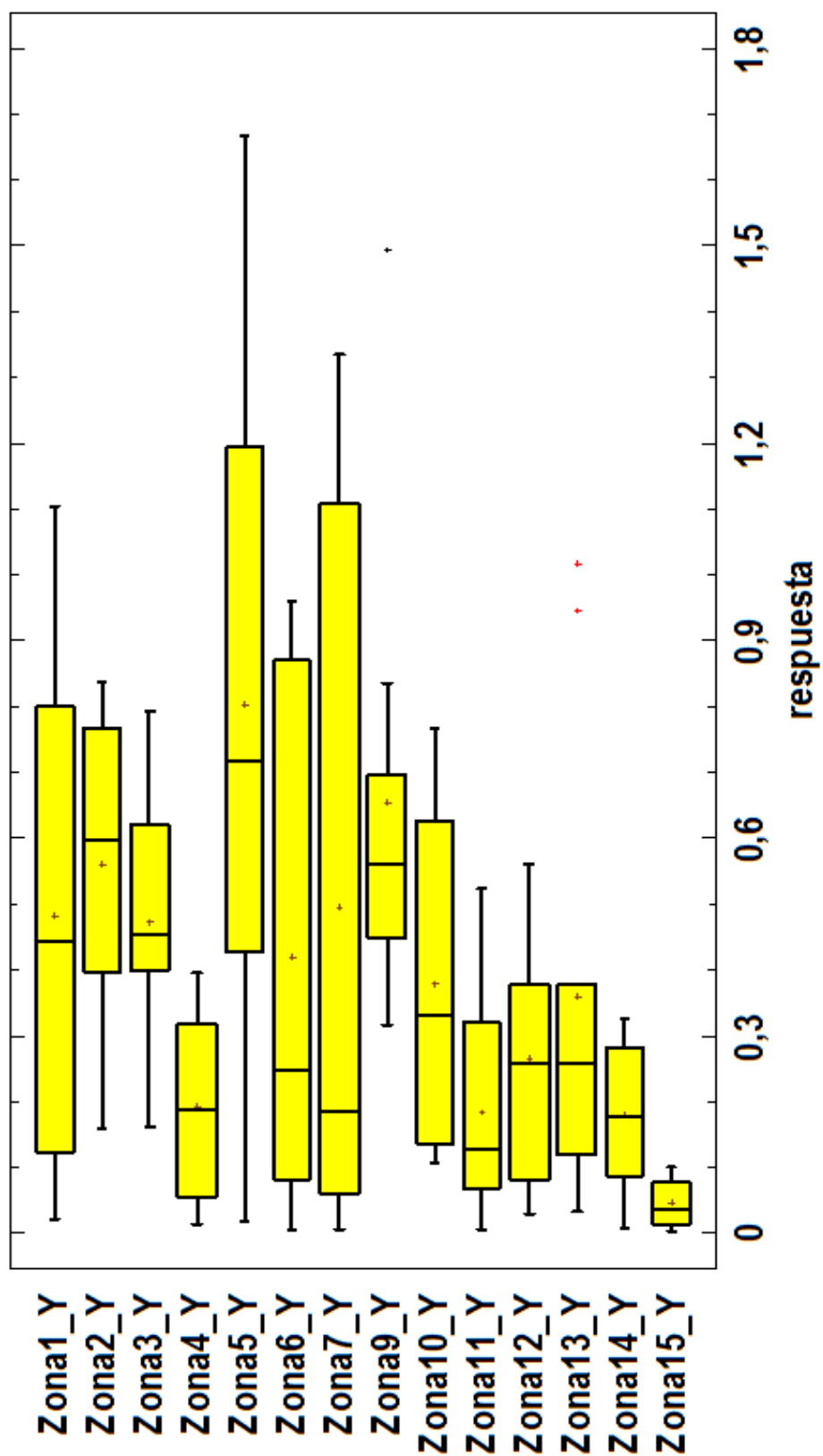
Figura 162. Tercer resumen estadístico



Zonas	Error (m)	Promedio	Precisión (m)
Zona1_Y	0,278	0,482	0,482±0,278
Zona2_Y	0,108	0,561	0,561±0,108
Zona3_Y	0,118	0,472	0,472±0,118
Zona4_Y	0,080	0,192	0,192±0,080
Zona5_Y	0,285	0,803	0,803±0,285
Zona6_Y	0,251	0,420	0,420±0,251
Zona7_Y	0,316	0,496	0,496±0,316
Zona9_Y	0,232	0,655	0,655±0,232
Zona10_Y	0,140	0,378	0,378±0,140
Zona11_Y	0,089	0,183	0,183±0,089
Zona12_Y	0,101	0,265	0,265±0,101
Zona13_Y	0,193	0,359	0,358±0,193
Zona14_Y	0,061	0,179	0,179±0,061
Zona15_Y	0,022	0,045	0,044±0,022

Figura 163. Precisión de los promedios

Gráfico Caja y Bigotes





Observando cada uno de los resúmenes estadísticos de Almería y Murcia, las precisiones y los gráficos se han sacado las siguientes observaciones.

Se observa que en Almería los promedios se encuentran en un rango de 1,6 m en X y 1 m en Y dispersiones que se ven reflejadas en la amplitud de las cajas correspondientes. Lo mismo ocurre con Murcia donde los rangos son de 90 cm en X y 70 cm en Y.

De nuevo hay cierta coherencia en los rangos de los residuos entre Murcia y Almería. Sin embargo en este caso vemos que se produce mayor error que en el control interno planimétrico. Esto es consecuencia de la acumulación de errores, por un lado estarían los producidos en la rasterización y hallados en el control interno planimétrico (unos 60cm aproximadamente) y por otro lado los propios generados por el PNOA, además de los cometidos en la digitalización.

Se podría entonces afirmar que el sensor LiDAR no genera la suficiente cantidad de puntos como para obtener una buena definición geométrica de las entidades lineales lo cual dificulta la identificación planimétricas de los elementos.





### 3.3.4.4 LAS (ND) vs GPS.

En este caso se han comparado la imagen de nivel de intensidad y los puntos GPS pertenecientes a la zona 3 de Almería. Los siguientes resultados pertenecen a las figuras 132 y 133 en el apartado 3.3.4.2.1 *Digitalización*.

#### 3.3.4.4.2 Transformación bidimensional.

Realizamos transformación esta vez como comprobación de los anteriores resultados.

GPS	N°	X	Y	Z	LAS	N°	X	Y	Z	Parámetros
<b>3</b>	1	582341,938	4085405,131	0,000	<b>3</b>	1	582341,090	4085404,690	0,000	0,196 $T_x$
	2	582331,331	4085380,411	0,000		2	582331,733	4085380,020	0,000	0,329 $T_y$
	3	582326,235	4085362,987	0,000		3	582326,220	4085362,780	0,000	0 $T_z$
	4	582324,611	4085356,823	0,000		4	582324,210	4085356,830	0,000	0 $\omega$
	5	582321,747	4085357,638	0,000		5	582321,490	4085357,700	0,000	0 $\phi$
	6	582318,933	4085358,493	0,000		6	582319,040	4085358,320	0,000	0,5352 $\kappa$
	7	582316,273	4085359,320	0,000		7	582315,980	4085359,100	0,000	1,0044 $\lambda$
	8	582310,994	4085360,868	0,000		8	582310,910	4085360,150	0,000	
	9	582308,194	4085361,664	0,000		9	582307,930	4085361,030	0,000	0,2413 $\sigma$
	10	582303,076	4085363,174	0,000		10	582302,770	4085362,600	0,000	

Figura 165. Parámetros transformación bidimensional

### 3.3.4.5 GPS vs Ortofoto.

Este punto corresponde a otra comprobación más comparando los puntos GPS con la ortofoto. Se ha realizado de nuevo el mismo proceso en este caso con las figuras 132 y 134 del apartado 3.3.4.2.1 *Digitalización*.

#### 3.3.4.5.2 Transformación bidimensional.

Realizamos transformación de nuevo con la intención de tener una comprobación más de los resultados obtenidos en el punto 3.3.4.3 LAS (Nivel de Intensidad) vs Ortofoto.

GPS	N°	X	Y	Z	Orto	N°	X	Y	Z	Parámetros
<b>3</b>	1	582341,938	4085405,131	0,000	<b>3</b>	1	582341,480	4085405,400	0,000	-0,170 $T_x$
	2	582331,331	4085380,411	0,000		2	582331,660	4085381,590	0,000	0,111 $T_y$
	3	582326,235	4085362,987	0,000		3	582326,290	4085363,210	0,000	0 $T_z$
	4	582324,611	4085356,823	0,000		4	582324,540	4085357,150	0,000	0 $\omega$
	5	582321,747	4085357,638	0,000		5	582321,730	4085357,900	0,000	0 $\phi$
	6	582318,933	4085358,493	0,000		6	582318,730	4085358,460	0,000	-0,586 $\kappa$
	7	582316,273	4085359,320	0,000		7	582316,160	4085359,400	0,000	1,0009 $\lambda$
	8	582310,994	4085360,868	0,000		8	582310,540	4085360,840	0,000	
	9	582308,194	4085361,664	0,000		9	582308,660	4085361,520	0,000	0,1263 $\sigma$
	10	582303,076	4085363,174	0,000		10	582302,980	4085362,966	0,000	

Figura 166. Parámetros transformación bidimensional



Expuestas todas las comparaciones realizadas entre LAS - GPS - PNOA se observan al realizar las transformaciones bidimensionales dos a dos las siguientes desviaciones típicas:

- ❖ LAS (ND) vs Ortofoto : 21 cm
- ❖ LAS (ND) vs GPS : 24 cm
- ❖ GPS vs Ortofoto : 13 cm

Por tanto, se entiende que las imágenes de Nivel de Intensidad halladas a partir de la nube de puntos LiDAR (LAS) están cometiendo un mayor error, lo cual es lógico ya que los puntos GPS han sido medidos en campo directamente de la realidad y las ortofotos vienen corregidas por lo que obviamente la comparación más precisa es la de estas dos últimas fuentes.

Volvemos pues a la conclusión ya dicha en la página 115 y es que el sensor LiDAR no genera la suficiente cantidad de puntos como para obtener una buena definición geométrica de las entidades lineales lo cual dificulta la identificación planimétrica de los elementos.



#### **4. PRESUPUESTOS.**

En este punto se incluye el cálculo del coste económico del proyecto teniendo en cuenta los precios unitarios del material, los recursos humanos y el software utilizado.

##### Presupuesto Material.

Objeto	Unidades	Precio unitario	Periodo de amortización	Días	Total	Total + IVA
Ordenador	2	600 €	3 años		1.200 €	1.452 €
GPS + trípode	2	100 €		3	600 €	726 €
Vehículo	1	100 €		3	300 €	363 €

##### Presupuesto Recursos Humanos.

Especialidad	Tarea	Cantidad	Sueldo mensual	Días	Total	Total + IVA
ITT	Gabinete	1	2.880 €	6	864 €	1.045 €
Operador LiDAR	litrado/Clasificació	2	1.900 €	30	3.800 €	4.598 €
ITT	Campo	3	3.600 €	3	720 €	871 €

##### Presupuesto Recursos Humanos.

Software	Licencia	Total + IVA
MDTopX	3.500 €	4.235 €
TerraScan	5.100 €	6.171 €
Microstation V8	3.000 €	3.630 €
Digi3D	200 €	242 €
MS Office 2007	48 €	58 €
Statgraphics	397 €	480 €

Se ha obtenido finalmente un presupuesto total de 19729€ + IVA: **23872€**

04/11/2014



## **5. CONCLUSIONES.**

Una vez presentada la metodología propuesta en este proyecto y analizados los resultados obtenidos a partir de dicho proceso, se ha llegado al desarrollo final de dos conclusiones, una desde el punto de vista genérico y otra desde el punto de vista específico.

### **Conclusión Genérica.**

Desde el punto de vista genérico se ha creado una metodología que cumpla con los objetivos de establecer un proceso de evaluación de datos, de manera que en un futuro se puedan desarrollar aplicaciones en las que podamos englobar todo el proceso. Por una parte, se han simplificado los métodos dando lugar a unas pautas que sirvan de guía con las que obtener resultados más óptimos en un control de calidad de un vuelo con sensor LiDAR. Además, es una metodología que unifica criterios, se realice donde se realice el control de calidad, permitiendo también la interacción con distintas bases de datos disponibles externas (modelos de elevación, cartografía...). Y finalmente es una metodología que especifica, es decir, se trata de un proceso claro, preciso y lógico.

### **Conclusión Específica.**

Desde el punto de vista específico se obtienen las siguientes conclusiones basadas en los resultados obtenidos al poner en práctica la metodología sobre una serie de muestras pertenecientes al vuelo LiDAR ya presentado.

**Control Interno Altimétrico:** Teniendo en cuenta la muestra tomada del vuelo LiDAR se ha llegado a la conclusión, analizados los estadísticos propuestos, de que las medias de los errores cometidos al hallar la coherencia interna del vuelo se encuentra en un rango de 20 cm. Se ha observado además que dependiendo de la dirección de vuelo, según se produzca el barrido del sensor láser y según la orografía del lugar la nube de puntos LiDAR quedará por encima o por debajo del terreno al realizar una comparación entre dos pasadas coincidentes en una misma zona. A consecuencia de esto se aconseja que a la hora de realizar el vuelo se ha de tener en cuenta que el avión vaya paralelo a la dirección dominante de la topografía del lugar, de esta manera se minimizan los errores sistemáticos que se manifiestan sobre todo en zonas con mayor desnivel (sierras, montañas, taludes...).

**Control Interno Planimétrico:** Teniendo en cuenta la muestra tomada del vuelo LiDAR se ha llegado a la conclusión, analizados los estadísticos propuestos, de que las medias de los errores se encuentran en planimetría en un rango de 60 cm aproximadamente. Es importante ser consciente de que la Z es muy compleja de obtener mediante digitalización. Se impone pues como método para obtener un buen análisis de la coordenada Z la metodología del control interno altimétrico. En caso de que aún así se quiera analizar esta coordenada desde el punto de vista planimétrico se aconseja tener en cuenta que se deberán elegir zonas con puntos muy bien identificados sobre el terreno para la realización de un buen posado (carreteras, parkings, figuras dibujadas claramente en el suelo en general).



**Control Externo Altimétrico:** Teniendo en cuenta la muestra tomada del vuelo LiDAR se ha llegado a la conclusión, analizados los estadísticos propuestos, de que las medias de los errores se encuentran en un rango de 23 cm. Se observan mayores errores en zonas de desnivel lo que nos dice que al proyectar los puntos GPS sobre el MDT de la nube de puntos LiDAR estos están quedando por encima o por debajo de los datos del sensor. Una vez más llegamos a la misma conclusión obtenida al comparar dos pasadas del vuelo en el control interno planimétrico y es que dependiendo de la orientación del vuelo con respecto a la orografía del lugar el sensor tiende a cometer errores positivos o negativos a un lado y al otro de los elementos. Por otra parte se observa una tendencia de unos 40 cm de error provocados por el sensor al medir sobre superficies asfaltadas.

**Control Externo Planimétrico:** Partiendo de la base de que no todos los errores son lineales distorsionando la superficie del terreno y que por tanto no se puede relacionar las nube de puntos LiDAR con la superficie real por medio de una transformación de semejanza, sí se ha realizado esta transformación a partir de imágenes de nivel de intensidad comparándolas con ortofoto como mera referencia para detectar posibles errores groseros. Así se ha observado que en esta comparación existe un sistematismo en las traslaciones en Y, y es que la mayoría son negativas, a diferencia del control interno planimétrico en el que los parámetros se mostraban de una manera aleatoria. Por otro lado, teniendo en cuenta la muestra tomada del vuelo LiDAR se ha llegado a la conclusión, analizados los estadísticos propuestos, de que las medias de los errores se encuentran en un rango de 1m. Suponemos que esto se debe a la acumulación de errores desde el proceso de rasterización pasando por la digitalización así como los errores implícitos en las ortofotos. Al contar además con una zona en la cual identificar los puntos GPS ya sea en la imagen de Nivel de Intensidad (ND) y en la ortofoto se ha llevado a cabo una comparación dos a dos de las tres fuentes de datos obteniendo las siguientes desviaciones típicas:

- ❖ LAS (ND) vs Ortofoto : 21 cm
- ❖ LAS (ND) vs GPS : 24 cm
- ❖ GPS vs Ortofoto : 13 cm

Se entiende pues que las imágenes de ND halladas a partir de la nube de puntos LiDAR (LAS) están cometiendo más error, lo cual es lógico teniendo en cuenta que los puntos GPS han sido medidos en campo directamente y comprobados en post proceso y que las ortofotos están corregidas. Y que por tanto la comparación más precisa en este caso es entre estas dos últimas fuentes de datos (GPS y ortofoto). Finalmente y a consecuencia de lo anterior se ha llegado a la conclusión de que el sensor LiDAR no genera la suficiente cantidad de puntos como para obtener una buena definición geométrica de las entidades lineales, lo cual dificulta la identificación planimétrica de los elementos.



## **6. ANEXOS.**

Debido al gran tamaño de los archivos generados como resultado de cada uno de los procesos llevados a cabo, nos vemos en la obligación de remitir al lector al CD que se adjunta con la memoria del proyecto en caso de querer consultarlos. Para que la consulta sea más sencilla a continuación se va a indicar las carpetas existentes y los archivos contenidos.

Los siguientes elementos se van a encontrar de la manera que se indica a continuación ya se el control de calidad externo o interno y ya pertenezca al estudio en Murcia o Almería.

### Altimetría

Cada una de las zonas en las que se ha realizado la comparación pasada-pasada. En ella encontraremos el control realizado sobre MDT o MDS y en el interior de estas carpetas encontraremos los informes de cada una de las comparaciones así como las tintas hipsométricas obtenidas. En caso de haber varias pasadas involucradas en la comparación encontraremos las carpetas MDT/MDS dentro de cada una de las comparaciones dos a dos según el nombre de la pasada en la que se ha proyectado.

### Planimetría

Cada una de las zonas en las que se ha realizado la comparación pasada-pasada. En ellas se incluyen tantas carpetas como pasadas involucradas. Dentro habrá una carpeta según el programa utilizado en el que se podrán consultar las diferencias gráficas obtenidas gracias a Digi3D así como las imágenes de nivel de intensidad.

Carpeta con los Excel que contienen todos los puntos tomados de cada una de las zonas con sus coordenadas, residuos y descripciones.





## **7. BIBLIOGRAFÍA.**

Andrés Díez Galilea. “Integración de Sensores para la obtención de una Base de Datos Cartográfica” (2014).

Jesús M<sup>a</sup> Garrido Sáenz de Tejada; Tutor: Andrés Díez Galilea. “Diseño de un plan de control de calidad para los sistema LiDAR batimétrico aerotrasportados. Aplicación en el municipio d Aveiro, Portugal” Julio 2011

Jie Shan, Charles K.Toth. “Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing” 2008.

Página web PennState “<https://www.e-education.psu.edu/lidar/l1.html>”

Baltsavias, E.P. 1999. “[Airborne laser scanning: Existing systems, firms, and other resources.](#)” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2-3):164-198.

Página web Arcsig Resources.  
“<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/015w00000041000000/>”

Página web IGN. “<http://www.ign.es/ign/resources/acercaDe/aig/A2.pdf>” Fotogrametría y Teledetección. Tema 40: “Fundamentos del sensor LiDAR. Concepto de rango de penetración y múltiples retornos. Sensores y plataformas. Principio del LiDAR aerotrasportado. Calibración y tratamiento de datos LiDAR. Utilización del LiDAR en la obtención del MDT y MDS. Modelos en 3D. Otras aplicaciones.”